

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
	DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(213)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Andrea Solano Gallardo Y Heider Manuel Rueda Carrascal		
FACULTAD	Ciencias Agrarias Y Del Ambiente		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Ambiental		
DIRECTOR	Rocío Andrea Miranda Sanguino		
TÍTULO DE LA TESIS	Evaluación de la calidad del agua de la fuente superficial quebrada Cundina, municipio González, Cesar.		
TITULO EN INGLES	Evaluation of the water quality of the Cundina creek surface source, González municipality, Cesar.		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua superficial de la microcuenca quebrada Cundina para el consumo humano del municipio de González, Cesar, a partir de la determinación de los índices de calidad (ICACOSUS), contaminación (ICOS) y bióticos (BMWP/COL y su ponderado ASPT-ICOBIO) en tres (3) tramos de la quebrada, con un respectivo análisis estadístico correlacional entre los parámetros evaluados durante el presente trabajo de investigación.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>Evaluate the physicochemical and microbiological quality of the surface water of the Cundina stream micro-basin for human consumption in the municipality of González, Cesar, based on the determination of the quality (ICACOSUS), contamination (ICOS) and biotic (BMWP / COL and its weighted ASPT-ICOBIO) in three (3) stretches of the creek, with a respective correlational statistical analysis between the parameters evaluated during the present research work.</p>			
PALABRAS CLAVES	Análisis, Calidad, fisicoquímica, Microbiológica, Estadístico y Correlacional		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Analysis, Quality, Physicochemical, Microbiological, Statistical and Correlational		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 213	PLANOS:2	ILUSTRACIONES:0	CD-ROM:1



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA FUENTE
SUPERFICIAL QUEBRADA CUNDINA, MUNICIPIO GONZÁLEZ, CESAR.

Autor(s):

ANDREA SOLANO GALLARDO
HEIDER MANUEL RUEDA CARRASCAL

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Ambiental

Director(a):

Ing. ROCIO ANDREA MIRANDA SANGUINO
Magister en desarrollo sostenible y medio ambiente

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Octubre de 2021

Dedicatoria

Andrea Solano-G.

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios, que me ayudado a tener fuerza para pasar cada adversidad, a mi madre, Ana Solano Gallardo a mis hermanas: Leidy solano, Karen Yuliana Sánchez y a mi Novio, Heider Manuel Rueda Carrascal, a todos ellos gracias por su apoyo incondicional, su ayuda y fuerza, me enseñaron que no importa que tan difícil sea el camino lo que importa es lo que aprendes en el recorrido.

Heider Manuel Rueda-C.

Dedico esta investigación en primer lugar a Dios todo poderoso, quien es el autor de nuestra vida, quien en cada momento me acompaño durante este bonito y maravilloso proceso a nunca desfallecer y a permanecer en pie para lograr muchos metas y triunfos al lado de él, y por sobre todas las cosas por traerme a este mundo con tan maravillosos y humildes padres, Edgar Rueda Rincón y Yaned Carrascal Mora quienes han sido mi energía y motor de vida para poder alcanzar mis logros, a mi hermano, Eduar Rueda Carrascal quien en cada segundo me brindó su apoyo y fuerza incondicional, a mi Novia, Andrea Solano Gallardo por orientarme a trabajar en conjunto por un mañana y enseñarme el verdadero significado de lo es hacer un equipo, todos ellos, que como el sol, el agua, el aire y la tierra; han sido las fuentes fundamentales de energía que mueven mi mundo cada día para regalarme luz de esperanza aun cuando se es imposible seguir por el camino de la vida.

Agradecimientos |

El más profundo agradecimiento por parte de los autores A:

Nuestra directora Temática Rocío Andrea Miranda sanguino porque sin sus ideas, consejos y valiosas anotaciones no se habría podido dar una dirección y un alcance a nuestra investigación. Por esos gratos momentos de reunión que nos hacían sentir como en familia y también en el observatorio del semillero de investigación que se realizaban aun en ausencia de la pandemia. De nuevo muchas gracias por las ideas y las correcciones que nos hizo para poder Mejorar el camino de nuestra investigación.

A la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por proporcionarnos los equipos, las herramientas, los laboratorios y los recursos para poder llevar a cabo la terminación de nuestra investigación.

Al señor Alcides, por tomarse el tiempo de instruirnos dándonos a conocer todo lo que sabía sobre muestreos en campo, por enseñarnos todo lo que sabía sobre trabajo de campo, por ayudarnos en secreto cuando aún ya no disponía de tiempo laboral cuando no sabíamos cómo tomar muestras de agua microbiológicas e incluso por ayudarnos cuando en medio del muestreo teníamos una duda y aun estando ocupado también en medio de su trabajo respondía a nuestras llamadas y se colocaba a nuestra disposición como profesional en la materia.

A la profe María Alejandra, por darnos sus indicaciones a la hora de hacer el muestreo, por otorgarnos bolsas de winkler y soluciones para el cálculo del oxígeno disuelto en campo con cada una de sus recomendaciones. Por explicarnos como hacer los muestreos en las estaciones y por tomarse parte de su tiempo ya no laboral para

esperarnos cuando nos tomada mucho tiempo hacer los muestreos o llegar por la lejanía de nuestra zona de estudio.

Al profe José Julián, por guiarnos en cuanto al tema concerniente a los macroinvertebrados, por ayudarnos a aprender cómo se podían recolectar, clasificar e incluso evaluar y analizar. Por compartirnos guías para hacer los procedimientos de manera correcta.

Al MSc. Yordin Leonel Villareal Solano como químico y magister en ciencias farmacéuticas por asesorarnos incluso fuera de su horario laboral desde la universidad pontificia bolivariana en el rumbo que debía tomar nuestra investigación y dudas en los parámetros que habían sido evaluados.

A la ingeniera ambiental Rubi Castellares de la universidad pontificia bolivariana por enseñarnos a mirar lo que se ve más allá de los parámetros físico-químicos obtenidos durante el muestreo.

Al tecnólogo en recursos ambientales y tecnólogo de gestión de laboratorio en análisis de agua por responder a nuestras llamadas cuando se nos presentaban dudas acerca de los índices que se estaban calculando y por tomarse la tarea de averiguar cosas que se salían de su conocimiento. Y a todas las demás personas que no siendo menos importante, no se mencionan en la lista para evitar su extensión, sin los aportes de todos ustedes muchos detalles de este trabajo nose habrían ajustado.

Índice

Capítulo 1: Titulo	22
1.1. Planteamiento del problema.....	22
1.2. Formulación del problema	23
1.2.1. Pregunta de investigación	23
1.3. Objetivos de la Investigación.....	23
1.3.1. Objetivos generales.....	23
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. Justificación	24
1.5. Delimitaciones.....	25
1.5.1. Delimitación Operativa	25
1.5.2. Delimitación Conceptual	26
1.5.3. Delimitación Geográfica.....	27
1.5.3.1 Extensión.....	27
1.5.4. Delimitación Espacial.	28
1.5.5. Delimitación Temporal	28
Capítulo 2: Marco referencial	30
2.1. Marco histórico	30
2.2. Marco contextual.	33
2.2.1. Contexto Ecológico del Área de estudio.....	37
2.2.2. Contexto Socio Ambiental y Económico escenarios de la Investigación.....	39
2.2.3. Población afectada por el Problema de investigación	41
2.3. Marco Conceptual.....	42
2.3.1. Agua.....	42
2.3.2. Los problemas de Contaminación del Agua y sus efectos deteriorantes.	44
2.3.3. Criterios de Calidad del agua.....	47
2.3.4. Calidad Del Agua.	48
2.3.5. Parámetros Indicadores de la Calidad Del Agua.....	49
2.3.6. Indicadores ecológicos de Calidad del Agua o Bio-indicador Ambiental.	58
2.3.7. Índices Biológicos de Calidad del Agua.	59
2.3.8. Índices de contaminación del agua (ICO´s).	60
2.3.9. Software ICATEST V1.0.	61
2.3.10. INDICE BMWP (biological monitoring working Party). Y ASPT (Average Store per Taxon).....	61
2.4. Marco teórico	63
2.4.1. Aspectos Generales de la Calidad del Agua	63
2.4.2. Uso e implementación de Plaguicidas a lo largo del territorio colombiano con un enfoque de antecedentes a nivel mundial	66
2.4.3. Determinación de la calidad del agua de fuentes superficiales por índices de calidad	66
2.4.4. Descripción del Software ICATEST V1.0.....	68
2.5. Marco legal.....	69

2.5.1	Normatividad Internacional.....	69
2.5.2	Marco Normativo Medioambiental de Colombia.....	69
2.5.3.	Marco Institucional Colombiano.....	71
2.5.4.	Marco Normativo Colombiano sobre la Calidad del agua.....	71
Capítulo 3:	Diseño metodológico.....	72
3.1.	Diseño de Investigación.....	72
3.2.	Universo, población y muestra.....	74
3.2.1.	Universo.....	74
3.2.2.	Población.....	74
3.2.3.	Muestra.....	75
3.2.4.	Variables.....	75
3.2.4.1.	Independientes.....	75
3.2.4.2.	Dependientes.....	76
3.2.4.3.	Variables Cualitativas.....	76
3.3.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información.....	77
3.3.1.	Fase I. Recolección de la Información.....	77
3.3.2	Método para el Reconocimiento de los sitios de Muestreo.....	68
3.3.3.	Método para la Geo-referenciación de las estaciones a Monitorear.....	69
3.3.4.	Método para Aforar en las estaciones de Muestreo.....	70
3.3.4.1.	Métodos de Determinación de Caudales.....	70
3.3.5.	Fase II. Métodos y Procedimientos para la toma de muestras para análisis Físicoquímico. Frecuencia de Muestreos.....	73
3.3.6.	Plan de Muestreo para Análisis Físico-Químico y Microbiológico.....	74
3.3.7.	Métodos y Procedimientos para la toma de Muestras Para Análisis Microbiológico.....	78
3.3.8.	Métodos y Procedimientos para el muestreo de Macro invertebrados bentónicos.....	80
3.3.9.	Métodos para preservación de la Muestra Etiquetado y Transporte.....	82
3.3.10.	Recipientes y volúmenes de muestras.....	83
3.3.11.	Fase III. Evaluación de Parámetros Físicoquímicos y Grupos Biológicos en laboratorio.....	84
3.4.	Fase IV. Análisis y Tratamiento de la Información.....	87
3.4.1.	Análisis de reporte de Resultados Físicoquímicos y Bacteriológicos del Laboratorio.....	87
3.4.2.	Determinación de los ICAs (Índice de calidad del agua en corrientes superficiales).....	88
3.4.3.	Determinación de los ICO's (índices de contaminación).....	90
3.4.4.	Determinación de Índices de Calidad Biológica del Agua.....	93
3.4.4.	Tratamiento Estadístico.....	93
Capítulo 4:	Fase v. Presentación de resultados y discusiones.....	95
4.1.	Caracterización del Recurso Hídrico Superficial.....	95
4.1.1.	Caudal.....	95
4.1.2.	Caracterización Organoléptica del agua.....	98

4.1.3. Reporte de Resultados Físico-Químicos.	100
4.1.4. Resultados de Análisis Microbiológicos.....	115
4.2. Determinación de los Índices de calidad del agua	121
4.2.1. Parámetros valorados para los muestreos 1 y 2.....	121
4.2.2. Parámetros valorados para los muestreos 3 y 4.....	123
4.3. Determinación de los Índices de Contaminación.....	126
4.3.1. Parámetros evaluados para los muestreos 1 y 2	127
4.3.2. Parámetros evaluados para los muestreos 3 y 4.....	129
4.4. Diversidad de Macroinvertebrados Acuáticos.	134
4.5. Índice BMWP/col y ASPT.....	138
4.6 Índice de Contaminación Biológica entre Estaciones (ICOBIO).....	142
4.7. Relación análisis estadístico-correlacional con base a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	145
4.8. Resumen del Estado de Calidad Del Agua Actual Evaluada En tres Tramos De la microcuena abastecedora quebrada cundina	152
Conclusiones	156
Recomendaciones.....	161
Referencias	165
Administración del proyecto	174
Recursos humanos.....	174
Recursos institucionales:.....	174
Recursos financieros	175
Apéndices	173

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Atributo de las estaciones de muestreo</i>	33
Tabla 2	<i>Problemas de contaminación, sus efectos y variables asociadas con la calidad del agua</i>	47
Tabla 3	<i>Parámetros evaluados por los índices de contaminación de Ramírez y Viña (1997)</i>	61
Tabla 4	<i>Variables de calidad de agua</i>	67
Tabla 5	<i>Parámetros evaluados por los índices de contaminación</i>	68
Tabla 6	<i>Variables Físicoquímicas y microbiológicas</i>	76
Tabla 7	<i>Equipos y Herramientas para Trabajo en Campo</i>	82
Tabla 8	<i>Equipos materiales y reactivos utilizados en el laboratorio para el análisis de Parámetros físico- Químicos y Microbiológicos</i>	83
Tabla 9	<i>Materiales y equipos que se utilizan en los laboratorios</i>	84
Tabla 10	<i>Plan de Muestreo para análisis físico-químicos y Microbiológico</i>	75
Tabla 11	<i>Variables In situ a tomar en la Microcuenca abastecedora Quebrada Cundina</i>	76
Tabla 12	<i>Variables químicas Ex situ en la Microcuenca abastecedora Quebrada Cundina</i>	77
Tabla 13	<i>Variables físicas Ex situ en la Microcuenca abastecedora Quebrada Cundina</i>	78
Tabla 14	<i>Variables microbiológicas Ex situ</i>	79
Tabla 15	<i>Información de los rótulos de las muestras</i>	84
Tabla 16	<i>Stikers para la marcación de la muestra de agua</i>	84
Tabla 17	<i>Criterios de calidad a nivel laboratorio (Ministerio de Agricultura., 1984)</i>	85
Tabla 18	<i>Claves de identificación taxonómicas utilizadas para la identificación de grupos Bioindicadores</i>	86
Tabla 19	<i>Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables</i>	88
Tabla 20	<i>Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables</i>	88
Tabla 21	<i>Ecuaciones para determinar el ICA</i>	89
Tabla 22	<i>Concentración de oxígeno disuelto equivalente a un grado de saturación del 100 por cien</i>	90
Tabla 23	<i>Significancia de los índices de calidad del agua ICA</i>	90
Tabla 24	<i>Método de Determinación de los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y viña (1997) que se evaluarán en la quebrada cundina</i>	91
Tabla 25	<i>Significancia de los índices de contaminación ICOs</i>	92
Tabla 26	<i>Matriz Comparativa de Resultados</i>	92
Tabla 27	<i>Valores de BMWP y ASPT con respecto a cada familia Bioindicadoras</i>	93
Tabla 28	<i>Caudales de las tres estaciones monitoreadas en época de más lluvia</i>	95
Tabla 29	<i>Caudales de las tres estaciones monitoreados en época de menos lluvia</i>	95
Tabla 30	<i>Estadísticos Descriptivos para los datos de caudal analizados</i>	95
Tabla 31	<i>Parámetros Físico-Químicos evaluados</i>	101
Tabla 32	<i>Estadísticos descriptivos de las variables físico-químicas</i>	102
Tabla 33	<i>Parámetros Físico-Químicos evaluados</i>	103
Tabla 34	<i>Estadísticos descriptivos de las variables físico-químicas</i>	105
Tabla 35	<i>Criterios que no cumplieron según la normativa de la Resolución 2115/2007</i>	111
Tabla 36	<i>Criterios de consumo humano que no cumplieron según la normativa del decreto 1594</i>	

<i>de 1984</i>	112
Tabla 37 <i>Criterios de contacto primario que no cumplieron según la normativa del decreto 1594 de 1984</i>	113
Tabla 38 <i>Resumen estadístico descriptivo de variables microbiológicas</i>	115
Tabla 39 <i>Resumen estadístico descriptivo de variables microbiológicas</i>	117
Tabla 40 <i>Determinación del ICA</i>	121
Tabla 41 <i>Calificación de la calidad del agua según el IDEAM, 2011</i>	121
Tabla 42 <i>Determinación del ICA</i>	123
Tabla 43 <i>Índices de contaminación para cada estación y Época de Estudio</i>	127
Tabla 44 <i>Resumen de los valores de índices de contaminación por estación de muestreo</i>	127
Tabla 45 <i>Rango de evaluación de los ICO's y Convenciones</i>	128
Tabla 46 <i>Índices de contaminación determinadas para cada estación y Época de Estudio</i>	129
Tabla 47 <i>Resumen de los valores de índices de contaminación por estación de muestreo</i>	129
Tabla 48 <i>Clasificación taxonómica de Macro invertebrados colectadas en las tres estaciones en periodo de más y menos lluvias</i>	135
Tabla 49 <i>Familias Macro invertebrados de mayor importancia en las estaciones</i>	136
Tabla 50 <i>Taxones reconocidos en las estaciones de muestreo</i>	138
Tabla 51 <i>Estado de la calidad del agua de acuerdo a BMWP/Col, ASPT; Roldan (2003)</i>	138
Tabla 52 <i>Macroinvertebrados recolectados durante los cuatro (4) muestreos</i>	142
Tabla 53 <i>Índice de contaminación Biótica entre estaciones y periodos de muestreo</i>	142
Tabla 54 <i>Recursos humanos</i>	174
Tabla 55 <i>Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$)</i>	175

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Microcuenca abastecedora quebrada cundina (Imagen satelital)	34
<i>Figura 2.</i> Representación de las estaciones de Monitoreo definidas en la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.....	35
<i>Figura 3.</i> Estación 1	36
<i>Figura 4.</i> Estación 1	36
<i>Figura 5.</i> Propuesta de Diagrama de Investigación Calidad de la microcuenca la Q. Cundina....	73
<i>Figura 6.</i> Esquema de Plan de Monitoreo para la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.	81
<i>Figura 7.</i> Localización de los puntos de muestreo en una sección transversal de una corriente o un canal	69
<i>Figura 8.</i> Esquema de Sección transversal del Cauce de un Rio o Quebrada.	70
<i>Figura 9.</i> Cadena de Custodia para la preservación y conservación de las muestras.....	79
<i>Figura 10.</i> (C) Red Pantalla.....	81
<i>Figura 11.</i> (A) Red D-net	81
<i>Figura 12.</i> (B) Tamizador Manual.....	81
<i>Figura 13.</i> Procedimiento para envasado de muestras por Rueda, H., & Solano, A., 2021. Y según Martínez R., Hernández K., & Miranda R., 2016.....	83
<i>Figura 14.</i> Curva de dispersión para los caudales medidos en las tres estaciones de más lluvia..	96
<i>Figura 15.</i> Curva de Dispersión para los caudales medidos en las tres estaciones en periodo de menos lluvias.	96
<i>Figura 16.</i> Comportamiento de las variables físico-químicos evaluadas en las tres estaciones para temporada de menos lluvia	102
<i>Figura 17.</i> Comportamiento de las variables físico-químicos evaluadas en las tres estaciones para temporada de más lluvia.	103
<i>Figura 18.</i> Comportamiento de las variables físico-químicos evaluadas en las tres estaciones para temporada de más lluvia.	106
<i>Figura 19.</i> Comportamiento de las variables físico-químicos evaluadas en las tres estaciones para temporada de menos lluvia.	106
<i>Figura 20.</i> Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Menos lluvia.....	116
<i>Figura 21.</i> Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Mas lluvia.....	116
<i>Figura 22.</i> Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Mas lluvia.....	117
<i>Figura 23.</i> Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Menos lluvia.....	118
<i>Figura 24.</i> Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias	122
<i>Figura 25.</i> Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias	122
<i>Figura 26.</i> Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias	123
<i>Figura 27.</i> Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias	124

<i>Figura 28.</i> Comportamiento del índice de calidad del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.	126
<i>Figura 29.</i> Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias.	128
<i>Figura 30.</i> Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias.	128
<i>Figura 31.</i> Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias.	130
<i>Figura 32.</i> Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias.	130
<i>Figura 33.</i> Comportamiento de los índices de contaminación (ICOs) del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.	134
<i>Figura 34.</i> Distribución de Macroinvertebrados en las estaciones por periodos.	136
<i>Figura 35.</i> Gráficos de familias más dominantes identificadas en las cinco estaciones de muestreo.	137
<i>Figura 36.</i> Comportamiento de los índices BMWP/Col, ASPT; Roldan (2003) del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.	141
<i>Figura 37.</i> Comportamiento del índice de contaminación Biológica entre estaciones (ICOBIO) del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.	143
<i>Figura 38.</i> Grafico del índice de contaminación Biótica entre estaciones y periodo de muestreo.	144
<i>Figura 39.</i> Diagrama de dispersión matricial por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UFPSO.	146
<i>Figura 40.</i> Diagrama de dispersión matricial por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UPB.	147
<i>Figura 41.</i> Dendrograma de similitud entre estaciones y periodos de muestreos en la microcuenca abastecedora quebrada cundina.	153

Lista de Apéndices

Apéndice A. Organismos competentes a la gestión del Recurso Hídrico.....	176
Apéndice B. Legislación Vigente que regula la Evaluación y Valoración de la calidad del agua	178
Apéndice C. Variables Físico-químicas-Microbiológicas monitoreadas y sus métodos de evaluación.	180
Apéndice D. Criterios de calidad para las Aguas crudas destinadas al consumo Humano.	181
Apéndice E. Criterios de calidad para las Aguas crudas destinadas al consumo Humano.....	182
Apéndice F. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso Agrícola	183
Apéndice G. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario	184
Apéndice H. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario.....	185
Apéndice I. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario	186
Apéndice J. Análisis estadístico por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UFPSO	187
Apéndice K. Análisis estadístico por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UPB.....	188
Apéndice L. Apoyo con Google Earth, 2021	189
Apéndice M. Mapa de Calidad del Agua según índice BMWP/col.	190
Apéndice N. Análisis de las variables microbiológicas durante los cuatro (4) muestreos realizados.	191
Apéndice O. Trabajo de investigación en Campo (Microcuenca Abastecedora Q. Cundina)....	192
Apéndice P. Ficha de campo con datos generales Para Toma De Muestras Biológicas en las estaciones de monitoreo.....	194
Apéndice Q. Resultado de las familias Bioindicadoras detectadas In situ, durante el muestreo y su identificación	195
Apéndice R. Cronograma de actividades del trabajo de investigación.....	196

Resumen Trabajo de Grado

Se realiza una investigación de carácter limnológica basada en la calidad del agua presente en la microcuenca abastecedora quebrada cundina entre los meses de marzo, abril, mayo y julio del año 2021, durante las temporadas de más y menos lluvias, en el tramo comprendido entre aguas arriba de la bocatoma (E1: punto zona de confluencia entre la quebrada cundina y la quebrada san cayetano) y los tributarios Quebrada cundina (E2: 100 metros aguas arriba de la Zona de Confluencia) y la Quebrada san cayetano (E3: 560 metros aguas arriba de la Zona de Confluencia) que corresponden a la vereda san Cayetano. Cuya finalidad pretende evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua superficial de la microcuenca abastecedora quebrada cundina para el consumo humano del municipio de González cesar, a partir de la determinación de índices de calidad e índices de contaminación y un respectivo análisis correlacional entre los mismos parámetros, que posteriormente, permitirían concluir si la quebrada cundina cumplen con los estándares nacionales e internacionales de calidad estipulados por el (Decreto 2115 del 2007, Decreto 1594 de 1984) y la OMS (1996) respectivamente para destinación como recurso para el consumo humano y los demás usos que esta pudiese tener. La metodología empleada para la ejecución del trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo de carácter exploratorio no experimental. Se tomaron muestras simples e integradas para la evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y se realizaron aforos de caudal. Se uso el índice de calidad del agua (ICA) según (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011), el índice de contaminación (ICOs) según Ramírez y Viña (1999), el muestreo de macroinvertebrados se llevó a cabo según el método sugerido por el (IDEAM, 2006), con algunas modificaciones extraídas de para evitar la erosión de poblaciones

de grupos bioindicadoras durante los muestreos y Con los datos registrados se determinó el ponderado ASPT del índice BMWP/COL según Roldán (2003). Y se determinó el índice ICOBIO, La correlación entre variables biológicas y fisicoquímicas se realizó mediante un análisis estadístico-correlacional. Así como también se ilustró la similitud/disimilitud entre estaciones y periodos de muestreo con un análisis clúster. Los datos arrojaron que las variables (Alcalinidad, dureza total, conductividad, nitratos , nitritos, cloruros, sulfatos y solidos totales) están cumpliendo y las variables (Turbiedad, pH, Coliformes Totales, E.coli) no están cumpliendo con los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo II de la Resolución 2115 de 2007 “Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, para los índices de contaminación no se determinó contaminación por mineralización (ICOMI) , ni por sólidos suspendidos (ICOSUS), ni por (ICOpH) Pero si por exceso de materia orgánica (ICOMO); encontrando alta contaminación en las estaciones (E1, E2 y E3) durante el (primer y segundo) muestreo, una contaminación media en la estación (E3) durante el tercer muestreo y una contaminación baja-alta para las estaciones (E1-E3) respectivamente durante el cuarto muestreo. y por otro lado algunos de los parámetros fisicoquímicos como (Turbiedad y pH) y microbiológicos como (Coliformes totales y E. coli) estuvieron por encima de los valores máximos permitidos en el capítulo IV del Decreto 1594/84 sobre “Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano” e indican que la fuente de agua es apta para un tratamiento convencional de potabilización. Sin embargo, con base en lo expresado en el artículo 40,41,42 y 43 no se presenta restricción para la destinación del recurso para uso agrícola, para uso pecuario ni para fines recreativos mediante contacto secundario; pero si presenta restricciones para fines recreativos de

contacto primario. Sin embargo, los resultados biológicos si detectaron variaciones de calidad del agua significativas entre periodos de estudios; En este sentido, la Estación (E1-E3) son las que presentaron mejor calidad (aceptable) durante los cuatro muestreos con valores de (6.6-6.7) respectivamente según el aponderado ASPPT de la BMWP/col Asigna 78 puntos, el mayor puntaje encontrado entre las estaciones. Seguidamente, la estación (E2) presentó una calidad del agua más baja (Dudosa) con 5.6 puntos según el aponderado ASPPT de la BMWP/col. Mientras que el ICOBIO presentó diferencias Alta-Media en el nivel de afectación sobre las comunidades de macroinvertebrados entre las estaciones (E1- E2) para los periodos de (más y menos lluvias).

Introducción

La quebrada cundina es la principal fuente de agua para el consumo humano, como para riego de cultivos, Esta fuente superficial abastece el 100% del acueducto municipal, perteneciente al casco urbano de Gonzales cesar y gran parte de la vereda san Cayetano aledaña a este municipio, a pesar de que esta fuente hídrica está categorizada por su importancia ecosistemita y valor ambiental a nivel local, se ve afectada por la deforestación de la ronda hídrica y de sus nacimientos generando gran afectación en el caudal hídrico de la microcuena abastecedora. No obstante, a lo anterior, a lo largo de esta microcuena afluyen escurrimientos de Residuos provenientes de agroquímicos como causa de las actividades agropecuarias establecidas en cercanías de la quebrada cundina, los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento previo proveniente de las descargas domésticas de familias ubicadas alrededor de esta.

En respuesta a lo mencionando anteriormente, se busca determinar el estado actual de la calidad del recurso hídrico en sus componentes físico, Químico y biológicos (incluyendo los microbiológicos) a lo largo de tres puntos estratégicos (estaciones); una estación (E1) en la zona de confluencia, otra estación (E2) en la quebrada cundina y finalmente otra estación (E3) en la quebrada san Cayetano que es un tributario de la quebrada cundina.

Mediante la determinación de los índices de calidad (ICA) por el IDEAM (2011), y los índices de contaminación (ICOs) del agua propuesto por Ramírez & y Viña (1998) y la aplicación de dos (2) índices bióticos: BMWP/col (Biological Monitoring Working Party), su ponderado ASPT (Average score per Taxon) y el ICOBIO (Índice de contaminación biótica) basados en el número de taxones bioindicadores de Macroinvertebrados acuáticos identificados.

Con el desarrollo de esta investigación se busca obtener un criterio de calidad para el agua que de un panorama de los problemas ambientales presentes en el recurso hídrico de tal manera que los resultados publicados representen un insumo valioso para estudios posteriores orientados a plantear los objetivos de calidad que se desean lograr a futuro en la quebrada cundina de la microcuenca abastecedora.

Para lograr tales objetivos, se propone una metodología con un enfoque cuantitativo, que implica un análisis estadístico comparativo de las variables de calidad del agua que serán estudiadas y ajustadas al alcance operativo, temporal, espacial, conceptual y geográfico que delimitan el objetivo del proyecto de investigación. El fin último del proceso de investigación es poder acercar o bien, presentar la realidad objetiva sobre la calidad del agua de la quebrada cundina a una sociedad civil en forma transversal.

El documento de investigación se encuentra organizado en tres secciones importantes., el primer apartado trata sobre Información general y proporciona las bases para entender el lenguaje y contexto en el que se desarrolla la investigación mediante el desarrollo del marco referencial (marco Histórico, Teórico, marco legal; conceptual y Marco contextual). El segundo apartado es el de la metodología de la investigación. De manera explícita se presenta el diseño metodológico con los métodos ajustados al alcance y límites del proyecto. Seguidamente, se presenta en un tercer apartado los resultados y las discusiones. Se busca en esta sección, dar a conocer de forma objetiva y entendible los hallazgos encontrados a partir de los datos tomados en campo. Pero también, se responden preguntas como ¿Qué quieren decir los resultados? ¿Qué patrón o comportamiento sigue lo que se encontró? ¿Tienen alguna relación los resultados entre sí y con otros estudios? Con estas preguntas se pretende plantear el debate para afinar las ideas y en última estancia, sustentar el objetivo principal de dar a conocer un criterio integral de calidad

del agua en la quebrada cundina. Seguidamente se proponen medidas de mejoramiento orientadas a potencializar las debilidades que podrían convertirse en, mayores problemas ambientales.

De manera adicional, los autores investigativos dan fe de haberse encontrado con restricciones temporales, económicas y operativas en el desarrollo de la investigación sin que estos afectaran directamente el alcance de los objetivos propuestos. Optando así por métodos ingeniosos para poder llegar a los respectivos resultados. La invitación final de los autores es que se lleve a cabo una lectura cuidadosa del presente documento e informar al lector interesado que el proceso de investigación puede continuar con una segunda etapa orientada a definir los objetivos de calidad del agua con base a los resultados obtenidos en el diagnóstico actual de la microcuenca.

Capítulo 1: título

Evaluación de la calidad del agua de la fuente superficial quebrada cundina, municipio González, cesar.

1.1. Planteamiento del problema

El municipio de González tiene como principal fuente económica según el (Plan de Desarrollo Municipal 2008-2011, 2008) es “La producción agrícola la cual es realizada con técnicas intensivas en utilización de mano de obra, siendo la utilización de agroquímicos y fertilizantes de relativa importancia en renglones como la cebolla, el frijol y la caña panelera” y entre otras pequeñas explotaciones bovinas realizadas en las partes altas del municipio. Las cuales han conllevado a la desaparición de gran parte de la cobertura forestal presente en el mismo, a la vez esté según el (Plan de Desarrollo Municipal de González 2016-2019, 2016) “es considerado un territorio escaso en agua, debido a que sus precipitaciones en la parte media y baja son escasas durante la mayor parte del año”. Por tal razón la principal y única fuente que abastece al acueducto municipal es la microcuenca quebrada cundina; la cual se encuentra ubicada en la parte alta del municipio “vereda san Cayetano”.

Para el municipio según el (Plan de Desarrollo Municipal de González 2016-2019, 2019) “el sistema clasificación de Holdridge en la quebrada cundina se encuentra circundada por una zona de vida correspondiente al Bosque húmedo montano bajo (bh- MB)”. No obstante debido al abandono estatal y municipal en que se encuentra esta vereda ha ocasionado que sus habitantes por carencia de una educación ambiental, recursos e inclusive proyectos hagan un mal manejo del suelo siendo su única vocación la de su uso forestal, pero es utilizado para prácticas agropecuarias tradicionales que carecen de un acompañamiento técnico y que van

degradando el suelo dando lugar a procesos erosivos que como consecuencia dificultan los procesos de retención del agua y debido a las pendientes que tienen las zonas circundantes a la cuenca la convierten en una fuente de vertimientos de agroquímicos y de aguas residuales que vierten a ella sin ningún tipo de tratamiento.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta de investigación

¿Cuál es el estado actual de la calidad fisicoquímica y microbiológica de la fuente superficial de la microcuenca abastecedora quebrada cundina en el tramo comprendido aguas arriba de la bocatoma y los nacimientos de la (Quebrada san cayetano y la Quebrada cundina) que corresponden a la vereda san Cayetano del municipio de González, cesar?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivos generales

Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua superficial de la microcuenca quebrada cundina para el consumo humano del municipio de González cesar, a partir de la determinación de índices de calidad, contaminación y bióticos con un respectivo análisis correlacional entre los parámetros.

1.3.2. Objetivos específicos

Valorar la calidad fisicoquímica y microbiológica de la fuente superficial de la microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Determinar la calidad del agua de la microcuenca abastecedora quebrada cundina del municipio de González cesar, mediante índices de calidad e índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS y el ICOpH).

Estimar la calidad ecológica del agua de la microcuenca abastecedora quebrada cundina mediante la aplicación de dos (2) índices bióticos: ICOBIO (Índice de contaminación biótica) y BMWP/col (Biological Monitoring Working Party), y su ponderado ASPT, basados en Macroinvertebrados Acuáticos.

Analizar la calidad del agua de la microcuenca abastecedora quebrada cundina del municipio de González cesar, mediante aplicación de un análisis estadístico-correlacional con base a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos de los muestreos.

1.4. Justificación

Conocer las condiciones físicas, químicas, y biológicas actuales de la microcuenca abastecedora quebrada cundina como objetivo indispensable para comprender en primera instancia el recurso Hídrico como un ecosistema “que presenta relaciones interespecíficas y dinámicas complejas que pueden arrojar un foco sobre los efectos acumulados de la contaminación por las actividades antrópicas como la agricultura, la explotación de recursos naturales de la microcuenca, el desarrollo comercial, habitacional y usos domésticos sobre la fuente entre otros” se puede llegar a reflejar sobre sus condiciones biológicas, hasta obtener una imagen objetiva del estado actual del funcionamiento de la microcuenca abastecedora quebrada cundina como un ecosistema. En segunda instancia evaluar y valorar las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de la microcuenca abastecedora quebrada cundina a través de los índices de contaminación propuestos por (Torres, Cruz, & Janeth P, 2009), permite desagregar los tipos de contaminación, por lo que observados en conjunto facilitan conocer índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. En última instancia, son los índices de contaminación los que nos pueden ayudar a de determinar el estado de calidad para sus

diferentes usos y requerimientos; específicamente, su aptitud para el consumo humano de la microcuenca.

1.5. Delimitaciones

1.5.1. Delimitación Operativa

Se realizará la evaluación de la calidad del agua y de la oferta hídrica de la fuente superficial de la microcuenca abastecedora quebrada cundina en donde se van a seleccionar 3 estaciones de control y aforo, las cuales serán seleccionadas estratégicamente según la dinámica social y el comportamiento hidráulico del cuerpo de agua a lo largo del tramo principal con una longitud 2,3 km comprendido entre la zona de confluencia de la microcuenca abastecedora quebrada cundina y su tributario la quebrada san Cayetano; estos 4 muestreos se harán de forma manual con una frecuencia exacta de muestreo trimestral de tipo puntuales e integrales lugar en el cual se definirá un plan de monitoreo para la evaluación del recurso hídrico; se contará además con un equipo operativo integrado por nosotros dos como ejecutores del proyecto bajo la asesoría y el acompañamiento de la directora del proyecto y apoyados además por el laboratorio de aguas para así poder construir el conocimiento por lo cual se proyecta se realizará el proyecto en dos momentos tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia en donde se irá a campo con la comunidad entre ellos el fontanero y algunos miembros de la comunidad que se muestren interesados en dar fe de lo que se está construyendo para el bien de toda la población en el presente territorio.

Nota: Debido a la situación crítica de la pandemia por coronavirus (COVID 19) presente en nuestro país y debido también a las condiciones de precipitación existentes en el área de estudio, con ocurrencia de lluvias atípicas la dinámica de la toma de muestreos se realizó en los meses (23 de Marzo, 21 de abril, 25 de mayo y 20 de julio) para el (primer, segundo,

tercero y cuarto) muestreo respectivamente; Donde fue preciso buscar que se estuviese o se coincidiera con los periodos de (Menos y más lluvias). Por esta razón se dio la necesidad de cambiar la dinámica en el tiempo de muestreo para el presente objetivo de investigación.

1.5.2. Delimitación Conceptual

Conceptualmente la investigación del presente proyecto está enmarcada en varias de las reglamentaciones existentes en donde se trabajará con los conceptos establecidos por el libro Calidad del agua Evaluación y diagnóstico de (Sierra Ramírez, C. A.,2011), Así mismo el proyecto de investigación estará enfocado en la legislación de diferentes sectores teniendo en cuenta el Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua por el (IDEAM.,2007); La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH); los Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua por la (EPA.,2005) y lo que es la Guía para la calidad del agua potable por la (OMS.,2006) en las que por medio de la cual se señalan las características en las que se debe encontrar el agua para que sea apta para el consumo humano, teniendo en cuenta que también se trabajará con el Decreto 1594 de 1984 y el Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible así como lo es también el biological monitoring working party de (Naranjo López, J. C., & López del Castillo,P.,2013); los lineamientos que estipula el índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano por (Torres, p. Hernán, C & Patiño, p.,2009); el índice de calidad general en corrientes superficiales-icacosu_ boletín informativo, D.C Bogotá por el (Ideam.,2009) y todo lo concerniente a lo que es la calidad del agua, las medidas fisicoquímicos y microbiológicas con enfoque en lo que es la salud pública, muestras, muestreos, incide de la calidad del agua (ICA) en cuando a las alternativas técnico-ambientales por realizar.

1.5.3. Delimitación Geográfica

La investigación se desarrollará en el municipio de González en el departamento del César, específicamente en la zona rural y dentro del límite geográfico de la microcuenca abastecedora quebrada cundina.

La principal fuente de agua para el consumo humano, como para riego de cultivos es la quebrada Cundina beneficiadora del acueducto municipal; la cual se forma gracias a la confluencia entre la quebrada san cayetano y la quebrada la cundina, ubicada en la vereda de san Cayetano a una altura promedio de 1700 m.s.n.m y una longitud del cauce principal de 2300 mt (hasta la bocatoma del acueducto). esta preciada fuente hídrica nace en la parte alta de la vereda san cayetano, en el noroccidente del municipio. (Plan de Desarrollo Municipal de González 2013-2015,2013 p. 118).

1.5.3.1 Extensión.

La unidad de análisis en términos cualitativos, comprende desde el punto de conformación de la microcuenca abastecedora quebrada cundina, en la confluencia de la quebrada san cayetano y la quebrada cundina, ubicado en el noroccidente del municipio; Siguiendo el curso de la microcuenca abastecedora quebrada cundina, involucrando la ronda hídrica, hasta alcanzar el último lugar de muestreo aguas arriba de la zona de confluencia en los puntos correspondientes a la Quebrada San Cayetano y la Quebrada cundina abastecedora del Municipio de González , Cesar. En términos generales, El área total de la cuenca del río algodonal a la que pertenece la quebrada cundina es de 746,398 21 km² y el área total de la microcuenca abastecedora quebrada cundina es de 21,415 km² correspondiente al 28,48 % del territorio del municipio de González cesar (75,2 21 km²) ; su longitud del cauce principal es de 2300 metros y su forma es alargada. Se encuentra entre los 1700 metros sobre el nivel

del mar, en la confluencia.

1.5.4. Delimitación Espacial.

De la Unidad de Análisis Se seleccionan estratégicamente (3) estaciones de muestreo ubicadas a distancias aleatorias en el gradiente longitudinal de la microcuenca abastecedora quebrada cundina. Desde la Confluencia de quebrada san cayetano y la quebrada cundina hasta Aguas arriba de estos dos mismos tributarios.

Las Unidades de muestreo son las siguientes:

E1: Punto Zona de confluencia (Zona de Confluencia de la Quebrada cundina y la Quebrada san cayetano)

E2: Punto Quebrada Cundina ((100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia de la Quebrada cundina y la Quebrada san cayetano)

E3: Punto Quebrada San Cayetano ((560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia de la Quebrada Cundina y la Quebrada san cayetano)

En Cada Unidad de muestreo, se delimita un transepto de 100m x 3m (300 m²) cada uno, las cuales, dentro del protocolo de campo, se contempla aplicar las mismas técnicas de muestreo dependiendo la naturaleza del serotipo a recolectar. La quebrada cundina está delimitada por los divorcios topográficos y por el límite departamental en algunos sectores del noroccidente, correspondientes al límite del municipio de González. (POMCH., 2010).

1.5.5. Delimitación Temporal

Este proyecto de investigación se caracteriza por ser de tipo longitudinal, establecida de acuerdo al cronograma de actividades, en un tiempo de ejecución de 10 meses, contados a partir del mes de marzo del año 2020, fecha en la que se planifica la aprobación de la

propuesta de investigación, hasta el mes de octubre del 2021 donde se espera la publicación y sustentación del documento final. En el trayecto, Se analizarán los parámetros de calidad del agua con una frecuencia de acuerdo al régimen de periodo de menos y más lluvias por monitoreo en cada uno de los puntos estratégicos definidos a lo Este proyecto de investigación se caracteriza por ser de tipo longitudinal, establecida de acuerdo al cronograma de actividades, en un tiempo de ejecución de 10 meses, contados a partir del mes de octubre de 2015, fecha en la que se planifica la aprobación de la propuesta de investigación, hasta Octubre 2016 donde se espera la publicación y sustentación del documento final. En el trayecto, Se analizarán los parámetros de calidad del agua con una frecuencia trimestral por monitoreo en cada uno de los puntos estratégicos definidos a lo largo de los tributarios (quebrada san cayetano y la quebrada cundina) que dan lugar a la microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Nota: La presente investigación tubo un retraso de carácter económico debido a que se demoró por parte de la universidad francisco de paula Santander seccional Ocaña la respectiva aprobación y desembolso de los recursos para el pronto pago a la universidad pontificia Bolivariana por concepto de análisis de los muestreos (tercero y cuarto) respectivamente.

Capítulo 2: marco referencial

2.1. Marco histórico

Entendiendo al ciclo hidrológico como un sistema lógico ordenado por una serie de procesos totalmente secuenciados que al final dan lugar a un fenómeno natural con el nombre de recurso hídrico que como ya se tiene conocimiento son conocidos con diferentes nombres a lo largo del planeta. Por otro lado, también sabemos que en últimas todos los cuerpos hídricos se encuentran interconectados desde la capa atmosférica hasta los diferentes cuerpos oceánicos presentes en el planeta tierra; esto a través del ciclo hidrológico. Adicionalmente a esto sabemos que en el momento en el que se desea caracterizar un cuerpo de agua; estos presentan o tienen una especie de relación directamente proporcional con la localización geográfica del país y a la vez con las características morfométricas y fisiográficas de la cuenca hidrográfica de la que se habla o del lugar de estudio durante una investigación determinada, y como por si fuera poco se sabe que estos influyen en los diferentes patrones existentes sobre el concepto de drenaje y las respectivas variaciones del régimen hidrológico. Por esto sabemos que los efluentes deben ser caracterizados de acuerdo con sus principales parámetros entre los cuales se distinguen: caudales líquidos y sólidos suspendidos, DBO, DQO, grasas y aceites, metales pesados, temperatura y pH.

Por otro lado, sabemos que la caracterización de un cuerpo de agua se ha realizado durante los últimos años teniendo en cuenta tres componentes: el hidrológico, las características fisicoquímicas y la parte biológica del mismo; teniendo en cuenta que para alcanzar un análisis completo de la calidad del agua se necesita hacer un monitoreo arduo en base al dinamismo de estos tres componentes con el transcurrir del tiempo. Y es por esto que

debido a lo que ha sido el uso y el aprovechamiento del recurso mismo a lo largo de las diferentes y cambiantes civilizaciones a lo largo de lo que ha sido la tan conocida evolución humana; resulta conveniente definir el contexto que ha venido siendo testigo mismo de los primeros indicios de las acciones que han sido realizadas y que se encuentran relacionadas con nuestro objeto de estudio; esto con el fin para de alguna forma poder llegar a saber cómo se ha llegado a determinar la calidad del agua a lo largo de la historia en los aspectos que se citan en el presente documento.

Desde hace ya varios años o décadas atrás se sabe que cuando se hablaba de la evaluación de la calidad del agua; en sus primeros inicios se empezaron a realizar controles sanitarios y a establecer focos de los mismos con miras hacia lo que nosotros conocemos como la parte estética y sana de una comunidad determinada y allí se va abriendo paso a la historia de la desinfección; y de acuerdo con este tema tan importante para aquel entonces ya se planteaba como una de las primeras medidas hacer uso de este concepto y consistía en almacenar en vasijas de cobre brillante e inclusive plata el agua que sería destinada para el consumo humano de aquel entonces y es así como a través del tiempo se da inicio a una serie de prácticas que se mencionaran a continuación y que sabemos han evolucionado en el tiempo.

Según Díaz Bautista, W. T. (2017) hace aproximadamente 7000 años en Jericó (Israel) el agua era en su gran mayoría almacenada en los pozos que estas civilizaciones mismas construían como fuente de recursos de agua, además para este entonces se inició a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua a lo largo del territorio. Según varias investigaciones el transporte del agua se realizaba mediante canales sencillos realizados en la arena o en las rocas y más tarde empezarían a aparecer los tubos huecos que se sabe que también fueron utilizados y por otro lado cierto número de problemas de tratamiento.

Desde el ámbito nacional y regional a lo largo del territorio colombiano según (Torres, H Cruz, Patiño, Escobar, & Pérez, 2009) , se han desarrollado diferentes estudios orientados a desarrollar o adaptar ICA acordes con las características ambientales de algunas fuentes superficiales. Rojas adaptó el ICA-NSF a las condiciones específicas del río Cauca, reduciendo el número de parámetros que lo conforman con base en el análisis del comportamiento de éstos en el tiempo y en el espacio y modificando los pesos porcentuales asignados a cada parámetro de acuerdo con su nivel de importancia en la evaluación de la calidad del agua del río Cauca.

Ramírez y Viña desarrollaron los índices de contaminación –ICO– a partir del análisis de componentes principales (ACP) aplicado a información fisicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria colombiana del petróleo; estos índices evalúan el nivel de contaminación del agua mediante la agrupación de variables fisicoquímicas que denotan la misma condición ambiental. Actualmente existen nueve ICO entre los cuales se destacan el ICO por materia orgánica –ICOMO–; el ICO por mineralización –ICOMI–; y el ICO por sólidos –ICOSUS–. según (researchgate.net, 1998).

Se conoce también según Duque, A., & Baena, L. (2007) que La CVC y la Universidad del Valle adaptaron el ICAUCA a las condiciones ambientales del río Cauca en el tramo Salvajina – La Virginia, la cual se basó en el comportamiento de la calidad del agua del río en este tramo y en la revisión de diferentes ICA desarrollados a nivel mundial a partir de los cuales se definieron los parámetros, subíndices y ecuaciones a ser considerados en el mismo. La importancia de los ICA (índices de calidad de agua) no sólo se remontan a la evaluación de la calidad de las fuentes superficiales a lo largo de un territorio determinado; pues en el país, el Decreto 1575 de 2007 considera a los ICA como uno de los instrumentos básicos para

garantizar la calidad del agua para consumo humano, reglamentando el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para el uso anteriormente citado sobre el consumo humano – IRCA que mide el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades que se encuentran relacionadas con el no cumplimiento de las características de tipo físicas, químicas y microbiológicas que tienen que ver directamente con el agua para el consumo humano y lo que se sabe es que calidad del agua mejora una vez ha sido sometida a diferentes procesos de tratamiento que son los que garantizan su potabilidad.

2.2. Marco contextual.

La información planteada en el presente trabajo de investigación se realizará dentro del marco de la investigación académica en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; Esta se encuentra basada en un trabajo de grado ya adscrito a la línea de investigación en Gestión ambiental y saneamiento del programa de ingeniería ambiental en la facultad de ciencias Agrarias y del ambiente. El polígono que constituye el área de influencia directa del proyecto, se construye sobre tres (3) estaciones de control y monitoreo ubicadas a lo largo de la quebrada cundina y su tributario la quebrada san cayetano, separados de acuerdo a los puntos de vertimientos existentes de acuerdo a la geología del terreno, a los asentamientos humanos y a las condiciones de acceso al punto lo permitan tomando en lo posible distancias equidistantes entre los puntos a analizar. Tal como lo muestra en la figura 1.

Tabla 1

Atributo de las estaciones de muestreo

Estación	L(+)	W(-)	Z	Numero de la estación	Distancia (Km)
1	8°25'47.08"N	73°23'56.22"O	1642	(1)	0
2	8°25'50.00"N	73°23'57.60"O	1655	(1-2)	0,1
3	8°25'46.90"N	73°24'10.46"O	1688	(1-3)	0,56

Nota: En la tabla 1 se da a conocer la georreferenciación en coordenadas Geográficas de las Tres (3) estaciones de monitoreo y las distancias en Kilómetros (km) entre cada una de ellas.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. con base a los datos tomados en campo.

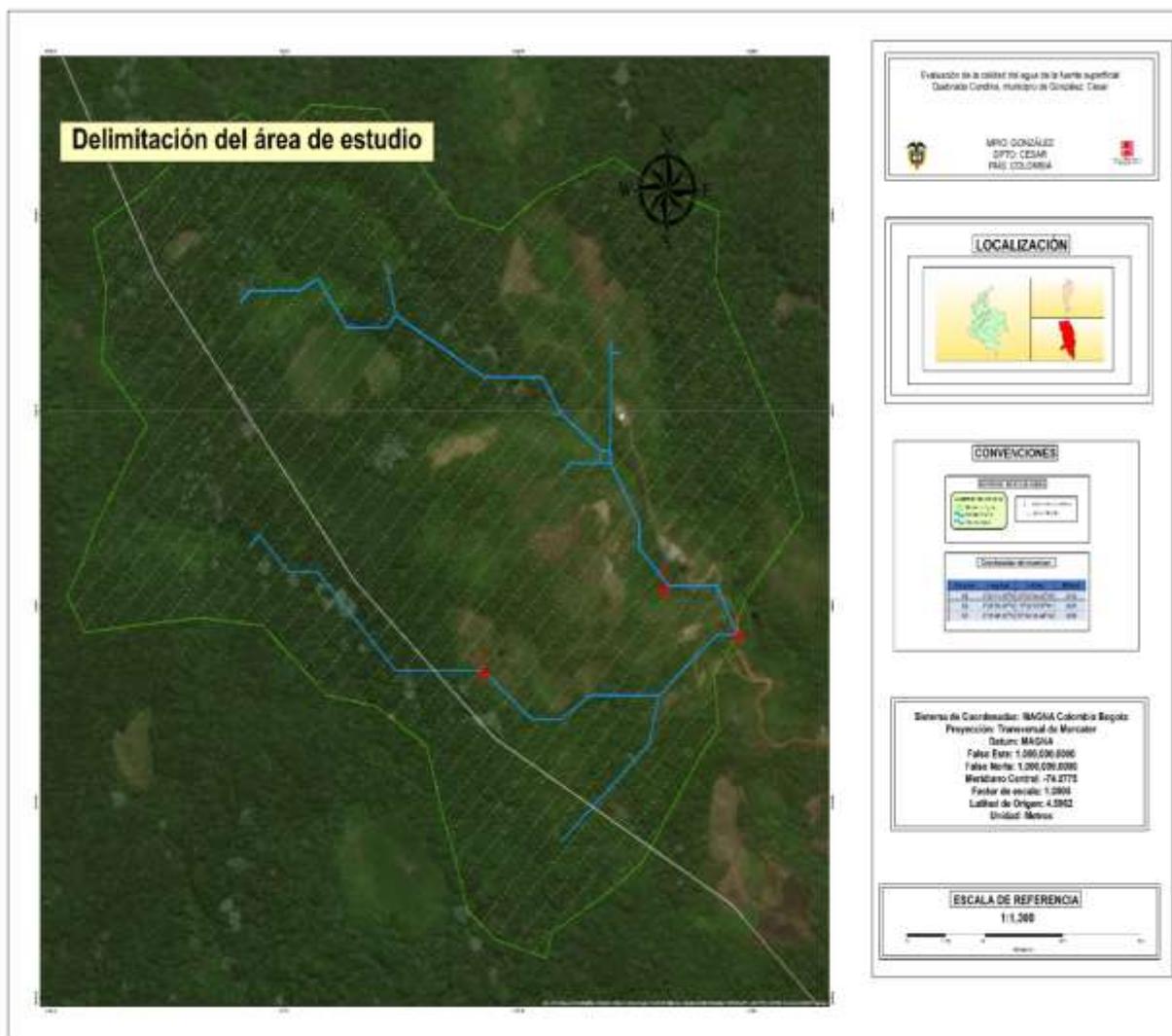


Figura 1. Microcuenca abastecedora quebrada cundina (Imagen satelital)

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. Con base al programa de ArcGIS

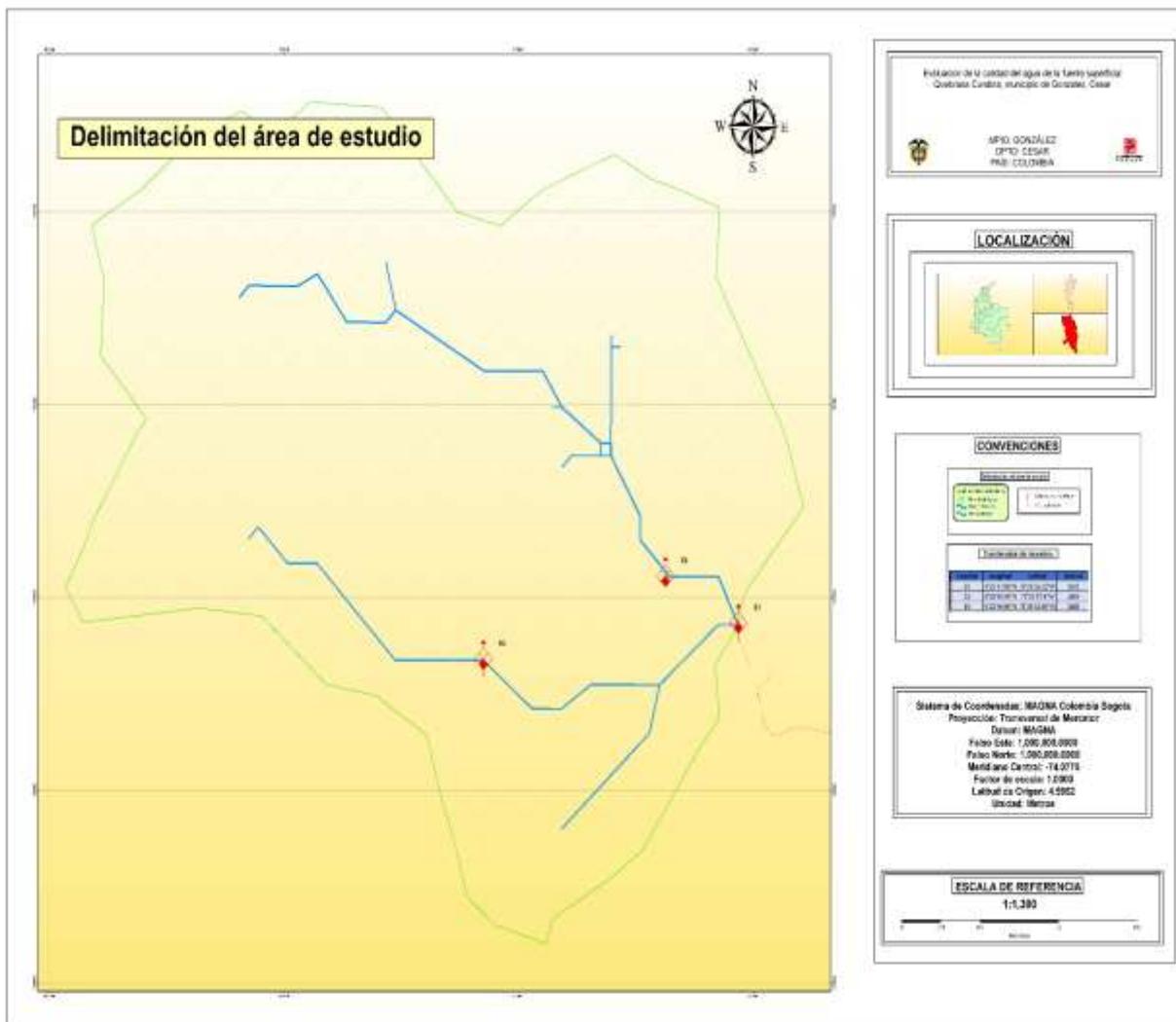


Figura 2. Representación de las estaciones de Monitoreo definidas en la Microcuenca abastecedora quebrada cundina

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. Con base al programa de ArcGIS

Estación 1. Punto Quebrada Cundina (Zona de Confluencia entre Q. san cayetano y Q. Cundina)



Figura 3. Estación 1



Figura 4. Estación 1

Estación 2. Punto Quebrada Cundina ((100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia)



Figura 5. Estación 2



Figura 6. Estación 2

Estación 3. Punto Quebrada San Cayetano ((560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia)



Figura 7. Estación 3



Figura 8. Estación 3

Nota: Representación de las estaciones de Muestreo definidas.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

2.2.1.Contexto Ecológico del Área de estudio.

La quebrada cundina es una microcuenca abastecedora de aproximadamente 7625 habitantes es decir con un total de 1525 usuarios del presente cuerpo de agua; es la principal fuente de agua para el consumo humano, como para riego de cultivos es la quebrada Cundina, beneficiadora del acueducto municipal, ubicada en la vereda de San Cayetano a una altura promedio de 1700 m.s.n.m y una longitud de cauce de 2300 m(hasta la bocatoma del acueducto).según el Plan de Desarrollo Municipal de González 2016-2019,2016.;a partir de la cual se despliegan un gran número de usos que se le dan al recurso hídrico como lo son: el consumo humano, actividades de riego para cultivos e inclusive para actividades de ganadería siendo una microcuenca que cuenta en la parte alta con una densa reserva de bosques conocido por ser un ecosistema altamente estratégico para la intervención del componente antrópico, esta se encuentra ubicada en el departamento del cesar específicamente en el municipio de González, se llega a esta por la vereda san Cayetano a poco más de una hora y media del municipio, de esta manera resulta de primordial importancia saber que las fuentes de agua siempre han sido la razón de los asentamientos en este territorio por las garantías que presenta frente a la existencia del recurso hídrico y que por ende la mayoría de las comunidades o poblaciones que se encuentran cercanas a esta cuentan con el privilegio de tener a su disposición tierras muy fértiles e inclusive otra serie de características como lo son el hecho de contar con una temperatura que va desde los 17°C hasta los 24°C, una altura entre los 1400 y 1800 metros sobre el nivel del mar, una humedad relativa de 83,3%, periodos de lluvia que alcanzan a llegar a los 177 días al año; Se evidencian dos periodos de lluvias bien definidos, los cuales se encuentran uno entre febrero y junio y otro entre septiembre y diciembre, contando además con precipitaciones entre los 1150 y 1300 mm; características por medio de

las cuales hacen de esta una zona apetecida, un territorio único, exclusivo y lastimosamente también estratégico para los asentamientos e intervenciones que viene presentando por la presencia del componente antrópico.

Precisamente este es el caso de la microcuenca quebrada cundina la cual viene lastimosamente durante los últimos años presentando una serie de alteraciones en la zona mencionada, en su mayoría por la presencia de actividades agrícolas, generando así parches introducidos que alteran tanto la quebrada cundina como también la fauna y la flora existente en el lugar; mencionando además como es ya de saberse que se encuentra una gran variedad de fauna que va desde de encontrar zorros, ñeques, ardillas, venados, guartinajas, puerco espinos, tigrillos , pavas, osos perezosos, codornices, conejos hasta encontrar zorros guaches y en el caso de la flora abunda el tan conocido arrayan, el matarratón, el Rampacho entre otros muy comunes y abundantes. La presente microcuenca abastece a otras poblaciones o asentamientos humanos aguas abajo de la población de González, Cesar.

Rescatando además que dentro de la hoya hidrográfica en su parte alta, media y baja se llevan a cabo un sin número de actividades agrícolas como lo son productos tales como la mora, el lulo ambos en la parte alta; el café, la caña y el frijol todos estos en la parte media y el lulo, el maíz ambos en la parte baja de la misma hoya hidrográfica, es por tal razón que esta Tiene como principal característica ser y perseguir una fuente económica según el (Plan de Desarrollo Municipal 2008-2011, 2008) “De producción agrícola la cual es realizada con técnicas intensivas en utilización de mano de obra, siendo la utilización de agroquímicos y fertilizantes de relativa importancia en renglones como la cebolla, el fríjol y la caña panelera” y entre otras pequeñas explotaciones bovinas realizadas en las partes altas del municipio, Las cuales han terminado por llevar a la desaparición de gran parte de la cobertura forestal

presente en el mismo territorio, a la vez esté según el (Plan de Desarrollo Municipal de González 2016- 2019, 2016) “es considerado un territorio escaso en agua, debido a que sus precipitaciones en la parte media y baja son escasas durante la mayor parte del año”. Por tal razón la principal y única fuente hídrica existente y que es la que abastece al acueducto municipal es la microcuenca quebrada cundina; la cual es la que se encuentra ubicada en la parte alta del municipio “vereda san Cayetano” y que por tal razón esta llega por gravedad al mismo sin ningún tipo de mecanismo necesario para tener que traerla hasta el mismo. Para la presencia de bosques en el municipio según el (Plan de Desarrollo Municipal de González 2016-2019, 2016) “el sistema clasificación de Holdridge en la quebrada cundina se encuentra circundada por una zona de vida correspondiente al Bosque húmedo montano bajo (bh- MB)”. Al realizar una descripción más intrínseca y detallada de la vegetación existente en ambos márgenes de la quebrada cundina y su respectivo tributario la quebrada san cayetano en las tres (3) estaciones de muestreo, resulta claro dar a conocer que existe presencia valiosa de sotobosque y que es abundante (variando con la existencia de estructura arbustiva y herbácea) aunque la estructura arbustiva es la más visible en las riquezas de la vegetación. El avistamiento de algunas especies de plantas propias de bosque húmedo montano bajo, sugiere que se trata de un bosque con propiedades de regeneración altamente significativas.

2.2.2. Contexto Socio Ambiental y Económico escenarios de la Investigación.

El maravilloso y fresco rincón de González, se encuentra presenciado y secuenciado por una gran variedad de grados de intervención siendo este tipo de actividades notorias mayoritariamente en la zona urbana del municipio mediante procesos acelerados de intervención y no visible también a mayor escala encontraríamos la zona rural. Según el (Esquema de Ordenamiento Territorial, 2015) se sabe que la microcuenca cundina en el

municipio de González hace parte de la cuenca hidrográfica del río Algodonal, que fue priorizada para su ordenación por la respectiva Comisión Conjunta (Corponor, Corpocesar y UASEPNN) en el año 2007. De acuerdo a esto sabemos Según el (Plan de Desarrollo Municipal de González 2016-2019, 2016) sabemos que el municipio de González se considera un territorio escaso en agua, debido a que sus precipitaciones en la parte media y baja del municipio son escasas durante la mayor parte del año (según EOT, se presentan solo 117 días de lluvia al año) y están influenciadas por vientos irregulares, que por su acción en la parte baja tiene tendencia en la desecación de los suelos. En los meses de enero, febrero, marzo, julio, agosto y diciembre se presentan pequeños vendavales y un brillo solar constante (según EOT, 1454.2 horas al año), que tiende a la resequedad del ambiente, produciendo aridez que se acentúa por la influencia del valle del Magdalena Medio, que influye en el ciclo hidrológico de este sector. Dentro de las áreas prioritarias para el municipio en el EOT se centran la zona de influencia de las cuencas de las quebradas Cundina, Las Ánimas, La Estancia y Rio de Oro parte alta, que son abastecedoras de la cabecera municipal y los centros poblados suburbanos y rurales. Según el Documento técnico denominado Agenda ambiental del municipio de González 2012-2022, "...el relieve abrupto y montañoso de la mayor parte del territorio municipal constituye un factor importante a considerar. Los suelos en pendientes suaves, permiten una actividad agrícola intensiva de cultivos transitorios, tanto en clima seco como en el húmedo. En los suelos de pendiente pronunciadas dentro del clima húmedo se han establecido cultivos perennes. Y en suelos de pendientes pronunciadas del clima seco no hay explotación de cultivos por el mal uso que se ha hecho de ellos y por efecto del agua de escorrentía superficial...". Además de las causas naturales, existen acciones antrópicas que están disminuyendo el recurso hídrico como son:

Deforestación creciente por actividades agrícolas y comercio ilegal de maderables, lo que ha producido la tala de la mayor parte del bosque natural en las zonas media y baja del municipio, quedando relictos de bosque secundario en las partes altas del sistema montañoso. Vertimientos sin control sobre las afluentes, ni monitoreo del recurso hídrico y ni mucho menos concesión de aguas.

Áreas agropecuarias: 2949 ha. con zonas de cultivos densos y cultivos limpios.

Áreas de bosque natural secundario: 2009.2 ha. con zonas de bosque natural secundario con procesos de intervención y zonas de protección y conservación de recursos naturales (flora, fauna y recurso hídrico).

Áreas de recuperación natural: 330.3 ha. con zonas degradadas por altos procesos erosivos.

Áreas de bosques productores: 1731 ha. con zonas para la producción forestal, las cuales requieren control y manejo.

Áreas de vegetación especial: 244.7 ha. con zonas de vegetación especial y rastrojos bajos. Zonas con tendencia xerofítica.

2.2.3. Población afectada por el Problema de investigación

En primera instancia sabemos que La población humana que realiza la intervención se encuentra asentada en la parte alta de la quebrada cundina y su tributario la quebrada san cayetano y es un hecho que esta microcuenca hace parte del interior de la Cuenca del Rio Algodonal ya que la quebrada cundina entrega su agua en algún punto de la cuenca del rio algodonal, teniendo en cuenta que los que se benefician con el consumo humano de este valioso recurso es el sector urbano que comprende al municipio de González-cesar. Para el

caso del municipio de González, de acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal de González 2016-2019, (2016), en el sector urbano se cuenta con un número de 7.624 habitantes de los cuales el 100% de la población se ve afectada por esta grave problemática. teniendo en cuenta que también se perjudica la parte bioética de los eco tipos como seres vivos con derechos de disfrutar de un ecosistema sano si de la calidad del recurso hídrico se habla, y sabemos que son la fauna y la flora quienes también integran los ecosistemas del área de influencia directa al proyecto y se mantienen con este valioso recurso. Por tanto, también se ven afectados como seres vivos que son.

2.3. Marco Conceptual

De modo que se pueda entender la información que se mostrara más adelante y así tener un conocimiento más a fondo de lo que se ha querido dar a conocer en el presente trabajo de investigación; se recomienda estudiar, y llegar a entender los conceptos en forma sencilla y clara, a continuación, en forma sucinta, se dan a conocer los términos comunes que enmarcan el tema de investigación. Resulta imprescindible que el lector perciba diferentes puntos de vista sobre una misma línea o enfoque, para que así pueda ser capaz de deducir la dinámica de la evolución con la que se desarrolló la presente investigación. De tal manera que comprendiendo el campo de estudio y la implicación de lo que se quiere obtener, se recomienda analice sistemáticamente y respectivamente la metodología propuesta para así lograr el objetivo de la absoluta comprensión del presente estudio. De manera que en un futuro se pueda llegar a desarrollar posibles ideas que continúen con el presente y ya citado proceso de producción ante nuevos conocimientos.

2.3.1. Agua.

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza ya que cubre

aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la tierra. Sin embargo y a pesar de la aparente abundancia, existen diferentes factores que limita la cantidad de agua disponible para el consumo humano. El 97% del total de agua en el mundo, corresponde al de los océanos y otros cuerpos de agua salina y no se puede utilizar para diversos propósitos. Del restante 3%, casi el 2% se encuentra distribuida en los témpanos de hielo, glaciares, en la atmosfera o mezclada con el suelo, por lo que no es accesible. Por consiguiente, el total de agua útil para el desarrollo y sostenimiento de la vida humana con sus actividades industriales y agrícolas, se dispone aproximadamente de 0,62% del agua restante, que se encuentra en lagos de agua fresca, ríos y mantos freáticos (Arellano, 2002). El agua dulce es imprescindible para la vida. Según Salamanca, E. (2016).

Parámetros físicos de la calidad del agua. Estos parámetros físicos son aquellos que responden a los sentidos de la vista, del tacto, el gusto, y el olfato, de los cuales podemos mencionar los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor, y temperatura. según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Parámetros químicos de la calidad del agua. Estos parámetros están relacionados con la capacidad del agua para disolver, como lo son, solidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, fluoruros, metales, materia orgánica, y nutrientes. según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Parámetros biológicos de la calidad del agua. El rango de los organismos acuáticos en tamaño y complejidad va desde el más pequeño microorganismo unicelular hasta el pez de mayor tamaño. Todos estos miembros de la comunidad biológica son en algún sentido parámetros de calidad del agua, dado que su presencia y ausencia pueden indicar la situación en que se encuentra un cuerpo de agua. según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez,

r. D. (2017).

2.3.2. Los problemas de Contaminación del Agua y sus efectos deteriorantes.

Se entiende por contaminación la presencia de aquellos organismos extraños en una fuente o cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que impiden la utilización para algún propósito determinado, la contaminación puede ser de manera natural o antropogénica; ambas implican una alteración perjudicial de la calidad del agua en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Según Jiménez arenas, k. A. T. E. R. I. N. (2017). De acuerdo con Loaiza Puerta, E. (2009). Existen los siguientes tipos de fuentes:

Fuentes naturales: se originan por arrastres de materia orgánica, los escurrimientos de aguas pluviales, productos inorgánicos producidos por la erosión del suelo y sustancias minerales. Todas las anteriores son aportadas por los mismos ecosistemas y en su mayoría son biodegradables.

Fuentes agrícolas: el origen de esta es por residuos animales y por el uso de plaguicidas y fertilizantes. Estos son llevados a los ríos o cuerpos de agua principalmente gracias a la esorrentía superficial ocurrida desde las explotaciones agrícolas o agropecuarias. Estas aguas llevadas a los ríos, aportan grandes cantidades de nutrientes (nitratos, y fosfatos), restos de sales inorgánicas y minerales.

Fuentes urbanas o domiciliarias: debido al incremento de la población en áreas urbanas, se ha dado un aumento en la producción de aguas residuales, que en su mayoría son descargadas en los cauces de los ríos. Estas aguas incluyen tanto 16 aguas negras domesticas como las aguas residuales municipales. En muchas áreas urbanas dentro de los países desarrollados no existen sistemas de alcantarillados adecuados o suficientes para la recolección de las aguas.

Fuentes industriales: las aguas residuales provenientes de industrias incluyen los residuos sanitarios de empleados tanto los residuos derivados de manufactura, y de procesos. La propiedad físico-química depende del tipo de industria y del proceso al que se dedique. Estas pueden contener materia orgánica, nutrientes, metales pesados, sustancias inorgánicas, grasas y aceites. En los países subdesarrollados, la mayoría de las industrias vierten estas aguas directamente a las aguas receptoras sin que lleven un tratamiento previo.

Tipos de contaminación. Existen dos (2) tipos, tales son: contaminación puntual lo cual es aquella que descarga sus aguas en cauce natural, que proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique, aquí en este punto el agua puede ser tratada y controlada. Y la otra es la contaminación difusa, que es el tipo de contaminación producida en área abierta, sin ninguna fuente específica este tipo de contaminación está relacionada con actividades como agricultura, urbanizaciones, pastoreo y practicas forestales. A lo que se refiere la contaminación puntual permite eliminar fácilmente esos elementos, si en caso tal se encuentra con los medios para almacenar el agua que es vertida, contaminada y tratada, por lo general en este caso se utilizan tanques de sedimentación donde se depositan los sedimentos en el fondo, y luego se trata con químicos, este sedimento que queda en el fondo se utiliza como abono orgánico y se estabiliza en un lugar seguro, por lo contrario la contaminación difusa es más difícil de controlar debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura. Según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Tipo de contaminante. Según Loaiza Puerta, E. (2009). el agua se contamina por la descarga de aguas residuales que pueden transportar diferentes tipos de sustancias contaminantes. Estas se pueden clasificar en los siguientes grupos:

Agentes biológicos: Este tipo de contaminación se relaciona con la presencia de

microorganismos patógenos principalmente de heces humanas y animales. Estos son comunes encontrárselos en los recursos hídricos superficiales, y sub superficiales. Es importante conocer el tipo, número y desarrollo de las bacterias en el agua para prevenir o impedir enfermedades de origen hídrico. (OPS, 1999).

Sustancias orgánicas: Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en agua, o la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Sustancias inorgánicas: En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. La mayor parte de estas sustancias son sales inorgánicas (cloruros, sulfatos, silicatos y óxidos metálicos). Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Sustancias radioactivas: estas sustancias provienen de residuos de ciertas industrias, centros de investigación y hospitales que manipulan y utilizan este tipo de compuesto.

Otros contaminantes: en este grupo se pueden mencionar el color, espuma y calor que pueden causar problemas. El color y espuma limitan la penetración de la luz y pueden reducir los niveles de OD, alterando así el equilibrio ecológico natural del agua.

Tabla 2

Problemas de contaminación, sus efectos y variables asociadas con la calidad del agua

Aparición del Problema	Interferencia	Problemas	Variables
Mortalidad de Peces. -Olores ofensivos-H ₂ S -Organismos desagradables -Cambio Radical en el ecosistema.	Pesca Recreación Salud ecológica	Oxígeno Disuelto (O.D) bajo	DBO NH ₃ , N.org. Sólidos Orgánicos Fitoplancton OD
Transmisión de enfermedades. -Trastornos gastrointestinales, -irritación de los ojos 3-Sabor y Olor -Algas Azules-Verdes -Eutrofización -Disturbios en el ecosistema	-Abasto de agua -recreación	Niveles altos de Bacterias	Coliformes Totales E.coli Estreptococos Virus
-Carcinógeno en el Agua -Niveles altos de toxicidad -Mortalidad, reproducción impedida -Pesca cerrada.	Abastecimiento de Agua Pesca salud ecológica	Crecimiento excesivo de plantas (eutroficación)	Nitrógeno Fosforo Fitoplancton
		Niveles altos de Toxicidad	Metales pesados Sustancias radioactivas Plaguicidas Herbicidas

Nota. La tabla indica las variables asociadas con los principales problemas de contaminación del agua.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. con base en información recuperada de Calidad del agua. Evaluación y Diagnóstico. Ramírez C. A., (2011).

2.3.3. Criterios de Calidad del agua.

Sierra Ramírez, C. A.,(2011). Afirma: Se entiende por criterio de calidad del agua una determinada concentración de un parámetro que, si se logra, se espera que se pueda dar al cuerpo del agua un determinado uso Benéfico. Concluyendo, los criterios son aplicables a la calidad del agua de un recurso hídrico y no a los efluentes o descargas de aguas residuales. La utilización de los criterios de calidad del agua permite hacer fundamentalmente, dos tipos de estudios: a) El diagnóstico de la calidad actual del agua b) definir los objetivos de calidad de un recurso hídrico. (p.137)

Diagnóstico de la calidad Actual del agua. No existe un método estandarizado que

permita definir los usos del agua. Es decir, cada caso se puede considerar una situación particular; Sin embargo, (...) es común que la primera actividad por realizar es la segmentación de la corriente en tramos. Para tal efecto se aplican criterios como los siguientes. Los segmentos corresponden a tramos de la corriente en los cuales el caudal, la sección, la pendiente y la calidad del agua permanecen aproximadamente constantes. No necesariamente, las distancias deben ser uniformes. Cuando un vertimiento o tributario se considera que puede afectar la calidad del agua de la corriente principal, se debe establecer un nuevo segmento. En sitios donde exista un puente, una estación de aforo u otro cambio importante, (...) ameritan la creación de un nuevo segmento. Sierra Ramírez, C. A.,(2011)., p.140).

Objetivos de Calidad. Es el trabajo posterior una vez se tenga el insumo del diagnóstico de la calidad actual del recurso hídrico. Se refiere a planificar los objetivos de calidad que se desea lograr a un futuro. Es decir, se establece que clase de río se quiere o se desea tener. Un ejemplo práctico será subir de categoría algunos tramos seleccionados y aumentando calidad en algunos segmentos. (Sierra Ramírez, C. A.,(2011)., pp- 143-144).

2.3.4. Calidad Del Agua.

La definición de la calidad del agua es muy compleja dada la cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos. Sierra Ramírez, C. A.,(2011) propone los siguientes conceptos: “Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas. También puede ser La Composición y estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua” (p.47).

Agua Cruda o en Estado natural, sin Tratamiento. El término de agua cruda se refiere al agua que se encuentra en el ambiente (lluvia superficial, subterránea, océanos, etc.) que no ha recibido ningún tratamiento ni modificación en su estado natural. En cuanto a las aguas

subterráneas, estas presentan condiciones de calidad más uniformes y distintas que las de las fuentes superficiales, generalmente son más claras pero mineralizadas. (Sierra Ramírez, C. A.,(2011)., p.48).

Análisis para la evaluación de la calidad del agua. Según Sáenz (1999); La realización de un análisis del agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y lo que son los microorganismos patógenos. Los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y de consumo humano. Se debe tener en cuenta que la evaluación de la calidad del agua, se realiza mediante una serie de análisis en laboratorio; los cuales son dirigidos a conocer cualitativa y cuantitativamente las características teniendo en cuenta las condiciones físicas (transparentes, inodora, e insípida), Condiciones químicas (disolver bien el jabón sin formas grumos), Y condiciones biológicas (libre de organismos patógenos). Tales características determinan el tipo y grado de tratamiento que es requerido para un adecuado acondicionamiento. Los análisis de laboratorio, las técnicas y cada procedimiento deben de ser cuidadosamente evaluados y desarrollados. Según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

2.3.5. Parámetros Indicadores de la Calidad Del Agua.

Parámetros físicos, químicos y biológicos: Para saber qué tan pura o qué tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros. Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos. Como se puede intuir existen muchos parámetros, muchas formas y varios métodos para medir dichos parámetros. Para obviar estos problemas, las agencias internacionales encargadas de vigilar y estudiar la calidad del agua han estandarizado (unificado) los criterios y los métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio. La publicación que recopila la metodología de laboratorio se titula:

Standard Methods for Water and Wastewater Examination (referencia 7). En este libro siempre que se utilice el término “Métodos Estándar” se refiere a la anterior publicación. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Parámetros físicos: Se clasifican como parámetros físicos aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Turbiedad: La turbiedad se expresa en unidades de turbiedad. Una unidad de turbiedad es una cantidad patrón empírica producida al agregar 1 mg de SiO₂ a 1 litro de agua destilada. El turbidímetro de Jackson es el instrumento de laboratorio con el cual se mide la turbiedad. Cuando la turbiedad se mide con este instrumento, los resultados se dan en JTU. Debido a que el turbidímetro de Jackson es un instrumento rudimentario y ante el auge de la instrumentación electrónica, en la actualidad, la turbiedad se mide con turbidímetros basados en principios nefelométricos. La sustancia patrón de medida ya no es sílice sino una mezcla de sulfato de hidrazina y hexametiltetramina. Cuando la turbiedad se mide con estos instrumentos, los resultados se dan en UNT. La unidad utilizada normalmente para expresar la turbiedad es la UNT. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Color: Terminan la presencia de sustancias orgánicas, iones metálicos como hierro y magnesio, plancton y hierba, pueden ser el resultado de apariencia de color en el agua. Para determinación se pueden definir dos clases de color.

Color verdadero. Es el color del agua cuando la turbidez de esta se ha eliminado, para la eliminación de la turbidez es recomendable la centrifugación.

Color aparente. Incluye no solo el color de la solución sino el de la materia suspendida; hay métodos que se han establecidos para la determinación del color, el método por comparación visual que es aplicable a todas las muestras de agua potable y el método

espectrofotométrico que permite calcular un único valor representativo de la muestra.

Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Visibilidad: Se entiende por visibilidad la interferencia que producen los materiales suspendidos en el agua al paso de la luz. Se mide con el disco de Secchi y se reporta en unidades de longitud. Este parámetro realmente representa la profundidad de la zona fótica, es decir, la zona hasta donde penetra la luz en el agua y puede realizarse fotosíntesis. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Olor y sabor: Se mencionan en conjunto por estar íntimamente ligados. Los olores y sabores en el agua están asociados con la presencia de sustancias indeseables causando el rechazo del consumidor. Los olores y sabores objetables se pueden deber a la presencia del plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica. Específicamente la sustancia que produce olores en la descomposición de la materia orgánica es el H₂S. No existen instrumentos para determinar los olores y sabores en el agua; generalmente estos se reportan en los análisis de aguas como presentes o no presentes. A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Concentraciones altas de olores molestos pueden reducir el apetito, producir náuseas y vómitos. También pueden interferir o rebajar el valor de la propiedad, el aspecto estético o paisajístico de una región. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Temperatura: Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, ya que incluye en el retardo o aceleración de alguna actividad biológica, en la precipitación de compuestos, en la desinfección, floculación, sedimentación y filtración. Hernández López, k.

M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Sólidos: Para dar un diagnóstico acerca de la calidad del agua, es necesario determinar la cantidad de material sólido que contiene la muestra. presenta los diferentes tipos de sólidos que existen en la ingeniería de calidad del agua y entre paréntesis, como ejemplo, está el porcentaje en que comúnmente se encuentran en las aguas residuales.

Dureza: Se denomina dureza a la propiedad que tienen ciertas aguas de cortar el jabón, es decir, requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Las aguas duras también tienen la particularidad de que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los equipos mecánicos y las tuberías; la dureza la ocasiona la presencia de cualquier catión bivalente en el agua, principalmente Ca^{2+} y Mg^{2+} . La dureza ingresa al agua en el proceso natural de disolución de las formaciones rocosas presentes en el suelo. La dureza se mide en el laboratorio por titulación (método del EDTA) y los resultados se reportan en mg/L de CaCO_3 . Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez-Ortiz, E. A. (2016).

Parámetros químicos: Por razones didácticas los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases: i) Indicadores (pH, acidez, alcalinidad). ii) Sustancias químicas. Indicadores Se definen como indicadores, los parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

pH: La medida del pH es una de las más importantes y frecuentes pruebas usadas en el agua, el pH es utilizado en medidas de alcalinidad, dióxido de carbono y muchos otros equilibrios ácido-base. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Conductividad: Se mide en $\mu\text{mhos/cm}$ o $\mu\text{S/cm}$. Indica la presencia de sales en forma ionizada, como los cloruros o iones de sodio, carbonatos, entre otros. Permite establecer

relaciones e interpretación de resultados con los sólidos disueltos en las descargas o cuerpos de agua. Es la mejor medida indirecta de la salinidad, ya que por otros métodos se torna engorroso e impreciso. Mediante el establecimiento de relaciones empíricas de la conductividad en soluciones estándar, posibilita resultados más rápidos y funcionales.

Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez-Ortiz, E. A. (2016).

Acidez: Se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8,5 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO₂ o la presencia de un ácido fuerte (H₂SO₄, HNO₃, HCl). El CO₂ es un componente normal de las aguas naturales. Entra al agua por absorción de la atmósfera. También, puede presentarse debido a que el CO₂ se produce en la descomposición biológica de la materia orgánica. Los resultados se expresan en mg/L como CaCO₃. Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez-Ortiz, E. A. (2016).

Alcalinidad: La alcalinidad es una medida de neutralizar ácidos. Contribuyen, principalmente, a la alcalinidad de una solución acuosa los iones bicarbonato (CO₃H⁻), carbonato (CO₃⁼), y oxidrilo (OH⁻), pero también los fosfatos, ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Su presencia en el agua puede producir CO₂ en el vapor de calderas que es muy corrosivo y también puede producir espumas, arrastre de sólidos con el vapor de calderas, etc. Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017).

Sustancias químicas: El agua, por ser considerada el solvente universal, tiene la posibilidad de que una gran cantidad de elementos y compuestos químicos estén presentes en ella. Sin embargo, muchos de estos compuestos no tienen importancia en la calidad del agua. Debido al alcance de este libro, sólo se discuten las sustancias que a criterio del autor son las más comúnmente utilizadas en el diagnóstico de la calidad del agua. Sierra Ramírez, C.

A.,(2011).

Grasas: Las grasas son generadas o llegan al agua por actividades antrópicas, y su presencia y medición están relacionadas principalmente con actividades que tienen que ver con el manejo de aguas residuales. Normalmente, las empresas operadoras de los sistemas de alcantarillado no permiten el vertimiento de aguas residuales con contenidos de grasas superiores a 100 mg/L. Lo anterior debido a que las grasas obstruyen las tuberías y presentan problemas en la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas naturales, la presencia de grasas inhibe el paso de la luz y del oxígeno disuelto en el agua, además, de que se adhieren a las branquias de los peces. En términos prácticos, para diferenciar las grasas de los aceites, las grasas son consideradas desechos sólidos mientras que los aceites son líquidos. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Detergentes: El término detergentes se aplica a toda la variedad de materiales utilizados para remover la “mugre” de la ropa, los platos, etc., es decir, todas las sustancias que producen espuma cuando el agua es agitada. Los detergentes son sustancias orgánicas que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del agua. Esta es la razón por la cual remueven la mugre. A los detergentes, también, se les conoce como tenso-activos o surfactantes. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Hierro y manganeso: El hierro y el manganeso se consideran importantes en el tratamiento del agua porque, aunque no tienen efectos en la salud de los consumidores, tanto el hierro como el manganeso manchan la ropa y los aparatos sanitarios, además, cuando se agota el oxígeno forman compuestos que se depositan, corroen y obstruyen tuberías y equipos mecánicos. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Nitrógeno: El nitrógeno (N) así como el fósforo son esenciales para el crecimiento de

protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores.

Debido a que el N es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante los procesos biológicos. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Fósforo: El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en las aguas superficiales ocurren nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y por escorrentía. Como ejemplo se puede citar el caso de las aguas residuales municipales cuyo contenido de fósforo como P puede variar entre 4 y 15 mg/L.

Clorofila: El fitoplancton está formado por algas, las que, a su vez, están constituidas por una serie de pigmentos. Entre los pigmentos más representativos están: clorofilas, carotenoides y biliproteínas. Mediante la cuantificación de la clorofila puede hacerse un estimativo del fitoplancton que existe en un área determinada, por lo cual se han estudiado las clorofilas el reconocimiento y extracción del fitoplancton. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO5), también suele emplearse, pero menos el (DBO21) de 21 días. Se mide en ppm de O₂ que se consume. Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm, un contenido superior es sinónimo de contaminación por infiltración freática. En las aguas superficiales es muy variable y dependerá de las fuentes contaminantes aguas arriba. Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017).

Demanda química de oxígeno (DQO): Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, Dicromato, permanganato, por el total de materias oxidables orgánicas e inorgánicas. Es un parámetro más rápido que el anterior ya que es de medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de O₂, las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm. Hay un índice que nos indicara el tipo de vertido, aguas arriba que tenemos, en el agua que estamos analizando y es la relación de (DQO- DBO) si es menor de 0.2 el vertido será de tipo inorgánico y si es mayor de 0.6 tenemos un vertido orgánico. Hernández López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017).

Sustancias tóxicas: Las sustancias tóxicas, por ser tan importantes en la calidad del agua, se tratan en un capítulo aparte. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Características biológicas: Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Los microorganismos en el agua pueden ser patógenos o no patógenos. Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedad a los seres vivos mientras que por no patógenos se entiende lo contrario. Los microorganismos más importantes que se encuentran en el agua y pueden producir enfermedades son las bacterias, los virus, las algas, los hongos y algunos protozoos. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

Pesticidas.: Son hidrocarburos clorados que cuando están presentes en el agua son rápidamente asimilados por los animales acuáticos entrando de esta manera a hacer parte de la cadena alimenticia. Tienen la característica de que son persistentes en los suelos y los sedimentos. Su origen en el agua se debe a su aplicación en la agroindustria y desechos industriales. Actualmente esta tiene prohibido el uso de Aldrin, DDT, Endrin, Heptacloro, Lindano y Clorano (EPA, 2013). Y demás sustancias de interés sanitario definidas en el orden internacional como: EPA, OMS, NSF y del orden nacional lo definido por el Decreto N° 1594

de 1984, por el cual se reglamenta usos del agua y residuos líquidos (vertimientos); específicamente en el Art N° 20, el Artículo 37, donde se establece los criterios de calidad para destinación del recurso (agua de fuentes superficiales) y el artículo N° 29 donde se establecen los usos del agua según orden de prioridades. Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez-Ortiz, E. A. (2016).

Parámetros microbiológicos en el agua Coliformes: Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan lactosa a temperaturas de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de β galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano. Dado que es difícil distinguir entre recrecimiento de coliformes y nuevas contaminaciones, se admite que todas las apariciones de coliformes son nuevas contaminaciones, mientras no se demuestre lo contrario²⁰. Coliformes fecales. Los coliformes fecales son coliformes totales que además fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24-48 horas. Molina Santiago, j. D., & castro Suarez, f. A. (2015).

Enfermedades transmitidas por el agua contaminada. El agua puede ser un elemento conductor de microorganismos transmisores de enfermedades. Entre las enfermedades que se contraen por la ingestión de aguas contaminadas se pueden citar las siguientes: Tifoidea, Paratifoidea, Disentería amebiana y Hepatitis. El peligro de adquirir estas enfermedades se halla especialmente en las áreas rurales o urbanas donde los sistemas de potabilización no son acordes a las características de la fuente de abastecimiento. Los microorganismos transmitidos por el agua se multiplican en el intestino y se eliminan por el cuerpo a través de las heces. Esto

puede determinar la aparición de una contaminación fecal de las fuentes de suministro, entonces un nuevo hospedador puede consumir esa agua y el patógeno puede colonizar su intestino. Molina Santiago, j. D., & castro Suarez, f. A. (2015).

2.3.6.Indicadores ecológicos de Calidad del Agua o Bio-indicador Ambiental.

El concepto de bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua es definido por Johnson et al. (1993), como una especie o una población o comunidad indicadora, que tienen requerimientos específicos con relación a un conjunto de variables físicas o químicas conocidas, cuyos cambios en la presencia o ausencia, número de individuos o morfología, fisiología o comportamiento de esta taxa, indican que las variables fisicoquímicas dadas están fuera de sus límites preferidos. Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008).

Aplicación de la Bioindicación de la Calidad del Agua. La principal aplicación de la bioindicación está relacionada con la evaluación del impacto de la contaminación. Especialmente, la referida al enriquecimiento de la carga orgánica residual y su consecuente déficit de oxígeno en corrientes superficiales de agua. En consecuencia, los factores de perturbación ambiental son causa directa de pérdida total o parcial de las comunidades naturales y, por ende, de su biodiversidad. Según Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez-Ortiz, E. A. (2016) al citar a (Cantera Kindz, et al., 2009 pp. 176-177).

Características del Bioindicador Ideal. Sierra Ramírez, C. A.,(2011).y Johnson *et al.*, (1993) definen algunas características que debe cumplir un bioindicador “ideal” para brindar información confiable en la bioindicación de calidad de agua.

Facilidad de identificación taxonómica; Distribución Cosmopólita para facilitar Estudios comparativos a nivel regional, nacional e internacional; Facilidad de Muestreo por su abundancia Numérica; Que exista buena información acerca del grupo; Que sea sedentario. Esto es, de

movilidad limitada; Largos ciclos de vida para facilitar la integración de escalas temporales y espaciales; Estrecho rango de adaptación y demanda ecológica; Tamaño apreciable para facilidad de recolección y recuento; Que sea poco variable genéticamente; Que su papel en la comunidad sea poco variable (que ocupe siempre el mismo nivel trófico). (p. 161).

Los Macroinvertebrados como Bioindicadores de Calidad del Agua. El grupo de macroinvertebrados acuáticos está constituido principalmente por formas bentónicas que se pueden observar a simple vista. De acuerdo a Roldán (2003) según lo citado por Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017) Pertenecen a los siguientes taxa: Insecta, mollusca, oligochaeta, hirudinae y crustáceaprinipalmente. Algunas desarrollan toda su vida en el medio acuático (oligochaeta y mollusca). otros, por el contrario, tienen una fase de su ciclo aéreo. (Gómez Duque, 2013, p. 45)

Bacterias. Uno de los mayores problemas empleando índices bacteriológicos es el tiempo que necesitan para obtener resultados, puede tardar varios días y hasta una semana o más antes de obtener los grupos de organismos buscados, asimismo los resultados son difíciles de interpretar.(...) Similar problema existe cuando se emplean conteos directos del número de células bacterianas ya que es difícil y solo posible con técnicas avanzadas y costosas para distinguir entre células bacterianas viables o inviables o partículas del mismo tamaño. (Arce Omar, 2006 p. 6).

2.3.7. Índices Biológicos de Calidad del Agua.

Se conoce que los Índices Biológicos informan de la situación tanto momentánea como de lo acontecido algún tiempo antes de la toma de muestras; es decir, utilizando bioindicadores permiten tener información del presente y pasado de lo que está sucediendo en las aguas.

Guinard, J. D. C., Ríos, T., & Vega, J. A. B. (2013). El Índice Sapróbico (1901), Índice Biótico de Beck (1954), Índice secuencia de Comparación (1971), Índice Estadístico de Pielou (1975), Índice de Hilsenhoff (1977), Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) (1978) y el

Índice de Macroinvertebrados Bénticos (1988). Todos los Anteriores permiten realizar diagnósticos rápidos y económicos de calidad de agua. (Vázquez S, Castro M, Gonzáles M, Pérez R, y Castro B, 2006 pp 45-46).

Indices BMWP (Biological Monitoring Working Party). Y ASPT (Average Store per Taxon). El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los Macroinvertebrados como bioindicadores (Roldán-Pérez, G. (2016).). El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Store per Taxón) esto es, el puntaje total para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación, los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia. (Montoya M. Yimmy, 2011).

2.3.8. Índices de contaminación del agua (ICO's).

Según Samboni, Carvajal y Reyes, este indicador fue desarrollado a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia. Utiliza las variables de DBO5, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno: las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución. Ramírez, Restrepo, y Viña desarrollaban cuatro indicadores de contaminación para la caracterización de aguas continentales argumentando que algunas de las variables incluidas en el Ica no deberían ser tenidas en cuenta; es el caso de la temperatura, ya que puede variar naturalmente con la altitud, Ramírez et al. Establecen que el procedimiento seguido en la formulación de los ico es similar al empleado en el desarrollo de los ICA: Selección de

variables físicas y químicas. Y la Asignación de valores de calidad (0-1) a diferentes concentraciones de las variables o establecimiento de una relación (ecuación) entre índice-variable teniendo en cuenta parámetros definidos por varios autores sobre el uso del agua.

Tabla 3

Parámetros evaluados por los índices de contaminación de Ramírez y Viña (1997)

PARÁMETROS A EVALUAR	ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN
Conductividad, Dureza, Alcalinidad	ICOMI
DBO ₅ , Col. Totales, % saturación Oxígeno	ICOMO
Temperaturas del Agua y del Vertimiento	ICOTemp
Unidades de pH	ICOpH
Sólidos Suspendidos	ICOSUS

Nota: Estos son uno de los parámetros usados para el cálculo de índices de contaminación.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. con base en información adaptada de Rodríguez B. y Fontecha A., (2011)

2.3.9. Software ICATEST V1.0.

Una vez mostrado el cálculo por estación y muestreo, el usuario puede realizar multiplicidad de graficas respecto de cada índice por estación o por muestreo, de tal manera que puede visualizar de forma comparativa el comportamiento de la calidad del agua según las necesidades del usuario, ICATEST V. 1.0 contiene las formulaciones colombianas desarrolladas a partir estudios de monitoreo en la industria del petróleo desarrolladas por Ramírez (1997- 1999), como son Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), Índice de Contaminación por Temperatura (ICOTEMP), Índice de Contaminación por pH (ICOPH), Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos, (ICOSUS), Índice de Contaminación Biológico (ICOBIO), Índice de Contaminación por Toxicidad (ICOTOX). según Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017) al citar a (Fernández, Ramos, y Solano, (S,f).

2.3.10. INDICE BMWP (biological monitoring working Party). Y ASPT (Average

Store per Taxon).

El Biológica Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los Macroinvertebrados como bioindicadores según Hernandez López, k. M., & Ramirez martinez, r. D. (2017) al citar a (Roldán 2003). Este método es de fácil utilización ya que la Identificación de los Macroinvertebrados a nivel de familia no requiere de mucho esfuerzo taxonómico, de dinero y de tiempo y por el contrario, es mucha la información que se obtiene sobre la calidad biológica del agua. Los aspectos biológicos han adquirido una creciente importancia en el estudio de los sistemas acuáticos, debido a que las variables fisicoquímicas no determinan con precisión la calidad de las aguas y sólo dan una idea puntual sobre ella. La utilización de las comunidades de bioindicadores permite emplearlas como testigos biológicos del nivel de deterioro ambiental de las corrientes superficiales y evidenciar las condiciones y los cambios ecológicos.

La inclusión de la aplicación del BMWP soluciona en parte este problema, ya que los macro invertebrados, al habitar permanentemente en el sistema acuático, reflejan las condiciones del medio incluyendo el efecto de las sustancias mencionadas. El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae, reciben una puntuación de 1. La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP. Roldán-Pérez, G. (2016).

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (*Average Store per Taxón*) esto es, el puntaje total para la evaluación del sitio. Los valores ASPT van de 0 a 10; un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación, los valores de puntaje para las familias individuales reflejan su tolerancia a la contaminación con base en el conocimiento de la distribución y la abundancia. Montoya m. Yimmy, a. Y. (14 de abril de 2011).

2.4. Marco teórico

En este Apartado de la investigación conjunta como trabajo de tesis, se abordarán aspectos y enfoques teóricos que le proporcionarán al personal lector del presente documento una visión más amplia del contexto o panorámica de la situación actual que se vive en la actualidad y que sirve como enfoque de estudio e indagación sobre el tema de la evaluación de la calidad del agua superficial de un recurso hídrico determinado, Objeto de investigación. Cabe resaltar que en este apartado solo se traerá a citación, información relevante a juicio científico de investigadores enfocados y concentrados en temas de estudio como el planteado en el presente trabajo de investigación planteado, con el propósito de que sirva de soporte, apoyo y pueda contribuir a la resolución de los objetivos planteados. Es decir, que sustenten o den fe teóricamente de la metodología e Hipótesis propuesta para la ejecución de la presente investigación. Esto implica la citación de investigaciones mayoritariamente indexadas, ideas de tipo científico soportadas con estudios, descubrimientos recientes en el campo de la práctica y el conocimiento, Tecnologías de punta aplicadas utilizadas para descubrimientos, perspectivas o interpretaciones válidas para el encuadre del plan estratégico propuesto para la continuidad y el soporte de la presente investigación. A continuación, se presentan ideas lógicas de manera secuenciada esperando que el lector motivado con afianzar su conocimiento por medio de la lectura, pueda en forma independiente ampliar en temas o vacíos en los que no se pudo profundizar a fondo dentro de la presente investigación.

2.4.1. Aspectos Generales de la Calidad del Agua

El 70% de la superficie de la Tierra está cubierta de agua; sin embargo, solo un pequeño porcentaje, el 0,025%, es apta para el consumo humano. Un recurso limitado cuya demanda, según las previsiones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

(OCDE), se disparará globalmente hasta un 55% entre los años 2000 y 2050. En la infografía adjunta observamos que el volumen total de agua en la Tierra es de 1.386 millones de kilómetros cúbicos, distribuidos en océanos, casquetes polares y glaciares, lagos, ríos, agua subterránea y agua en la atmósfera. 1.338 millones de kilómetros cúbicos de esa agua está en mares y océanos, es decir, el 96,5% se encuentra en mares y océanos, es decir, es agua salada que no se puede beber. Solo un 3,5% del agua de la Tierra es dulce, pero de este porcentaje, el 70% está congelada en glaciares y casquetes polares. Según lo señalo la (Defensoría del pueblo, S.f)

Situación de la calidad del agua En Colombia. La demanda de agua crece exponencialmente. Sin embargo, la oferta y calidad cada vez es menor, razón por la cual urge la implementación de acciones que permitan mantener un suministro permanente de agua de buena calidad para toda la población y para preservar las funciones de los ecosistemas. Según lo da a conocer Herrera Quevedo, C. A., & Poveda Orjuela, M. C. (2016). De acuerdo a lo que dice Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017) al citar las principales causas del deterioro de la calidad del agua publicada en la CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, (2007-2008), tenemos las siguientes: El deterioro de Cuencas como consecuencia de la deforestación.; La contaminación de las fuentes por vertimientos de residuos líquidos y sólidos, ARD (Aguas residuales domésticas) ARI (aguas residuales Industriales), lixiviados y basuras.; El desconocimiento de información del recurso Hídrico que considere elementos como la capacidad de asimilación del cuerpo receptor y el efecto nocivo de los vertimientos; Los fenómenos de Urbanización sobre zonas de ronda de las fuentes Hídricas; La desecación de los humedales; La poca cultura ciudadana frente a la protección del recurso Hídrico y el uso ineficiente del agua potable, evidenciado por altos

niveles de pérdidas de agua (acueducto, riego o industria).

De acuerdo a la situación evidenciada anteriormente por los factores causantes de la pérdida de calidad del recurso hídrico en un territorio determinado, se hace fundamental incorporar a esta temática que la contaminación es vista como un factor de tipo mayor que conduce a que se disminuya la calidad del agua. A este concepto tan importante el señor investigador Sierra Ramírez, C. A.,(2011). p. 47. En su libro calidad del agua evaluación y diagnostico Se refiere a la introducción por el hombre directa o indirectamente de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: Daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimentos de actividades acuáticas e interferencia sobre las actividades económicas, como el riego, el abastecimiento de agua para las industrias, el etc.

Calidad del Recurso Hídrico Superficial Colombiano. Casi que recientemente se logró conocer que existe una metodología según el (IDEAM, 2015) sobre la evaluación de la calidad del agua en fuentes superficiales del ENA (estudio nacional del agua) publicados en forma conjunta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales-IDEAM, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible- MADS-, (2015) incluyen el análisis de las variables: DBO5 (Materia Orgánica Biodegradable en un periodo de evaluación de 5 días), y Materia Orgánica No biodegradable (DBO- DQO), SST (Sólidos Suspendidos Totales), Nutrientes (NT,PT); Sustancias Peligrosas (Uso del mercurios derivado del beneficio del Oro y la Plata, el Uso de Agroquímicos en etapas de cultivos y la cantidad de químicos Usados en la transformación de Coca). No dejando de lado que el ENA, (2014) incluyó una variable adicional, con respecto a lo que fue el ENA (2010). A saber, la Relación NT/PT (Nitrógeno Total – Fósforo Total); esta variable da a conocer los estados de balance de nutrientes en lo ecosistemas para el buen desarrollo de los organismos vivos que pueden ser afectados por

cargas provenientes de la agricultura y los vertimientos de aguas servidas.

2.4.2. Uso e implementación de Plaguicidas a lo largo del territorio colombiano con un enfoque de antecedentes a nivel mundial

En Colombia según lo expresa Hernández-Antonio, A., & Hansen, A. M. (2011), son relativamente escasos los estudios dirigidos a evaluar la afectación en los cuerpos de aguas superficiales por el uso de plaguicidas organoclorados y organofosforados en las zonas agrícolas de Colombia. NIVIA (2004), rastrea el origen de la industria de plaguicidas en 1962, inició con el proceso de formulación y posteriormente la síntesis de algunos ingredientes activos. 30 años después, las formulaciones de plaguicidas registradas en el ICA (instituto Colombiano Agropecuario), Prácticamente se duplicaron, pasando de 770 Productos en 1974 (formulados con base en 186 Ingredientes activos) a 1370 en el 2003, formulados con 71 base en 400 ingredientes activos. De estos, 28 ingredientes activos (123 formulaciones comerciales) pertenecen a las categorías de Ia e Ib.2 En la clasificación de la OMS, (2015) para los plaguicidas con Importante toxicidad aguda y se encuentran entre los agro tóxicos más utilizados en Colombia y América Latina. (IDEAM y MADS p. 271).

2.4.3.Determinación de la calidad del agua de fuentes superficiales por índices de calidad

Un índice de calidad del agua es la expresión global o integrada en la cual se combinan factores naturales de tipo morfológico, geográfico y/o climático con las características fisicoquímicas y biológicas del agua, sin ignorar la estética de la zona (Sierra, 2011); para ello es necesario determinar calidad mediante la definición de expresiones matemáticas que permita el relacionamientos e integración de un conjunto de variables (parámetros fisicoquímicas y microbiológicos) del agua, como elemento de la naturaleza que soporta un ecosistema y como un bien público. De hecho, al determinar índices de calidad se precisan

grados de contaminación del recurso y de fácil estimación cuantitativa.

Por otra parte, también se tiene el Índice de calidad de agua planteado por la National Science Foundation de los Estados Unidos (NFS) 1978, estructurado por ocho (8) variables físico-químicas y una (1) variable biótico, que son los Coliformes Totales para la valoración y evaluación de la calidad de agua de fuentes superficiales destinadas para abastecimiento de agua para consumo humano.

Las variables más frecuentes para la determinación de Índices de Calidad de Agua son, por ejemplo:

Tabla 4
Variables de calidad de agua

Parámetro
Oxígeno disuelto (mg/L)
Conductividad eléctrica
Ph
TEMPERATURA (°C)
COT
ST (mg/L)
Coliformes totales
Coliformes fecales (NMP/100 ml*104)
DBO5 (mg/L)
PO4 (mg/L)
Turbiedad (UJ)
NO3 (mg/L)
Color
Dureza
Cloruros

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. al citar al IDEAM, 2011 & NFS.

Por otra parte, están planteados los Índices de contaminación (Samboni Ruiz, Carvajal Escobar, & Escobar, 2007), un indicador desarrollado a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia. En este se utiliza variables como la DBO5, Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, donde, las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución.

Además, existen cuatro indicadores de contaminación para la caracterización de aguas superficiales (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997), el cual establece que el procedimiento para la determinación de los ICO's es similar al proceso para la determinación del ICA: Selección de variables físicas y químicas. y Asignación de valores de calidad (0-1) a diferentes concentraciones de las variables o establecimiento de una relación (ecuación) entre índice-variable teniendo en cuenta parámetros definidos por varios autores sobre el uso del agua.

Tabla 5

Parámetros evaluados por los índices de contaminación

Índice de Contaminación ICO's	Parámetros de evaluación
ICOMI	Conductividad eléctrica
	Dureza
	Alcalinidad
ICOMO	DBO5
	Coliformes Totales
ICOtemp	% Saturación Oxígeno
ICOpH	T° del agua y T° del vertimiento
ICOSUS	Unidades de pH
	Sólidos suspendidos

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. al citar a Ramírez y Viña (1997)

2.4.4.Descripción del Software ICATEST V1.0.

Para el cálculo de índices de calidad y de contaminación del agua se aplica un software que permite insertar los resultados de las variables arrojadas a nivel de laboratorio, permitiendo calcular de una manera más precisa los datos que se quieren obtener. El ICATEST V1.0 fue programado en Microsoft Visual Basic 6.0, a partir de una metodología de desarrollo orientada a componentes. Cada uno de los índices fue programado y perfeccionado por separado, en consideración a la escasa homogeneidad en lo que a sus diferentes formas de cálculo y tipo de información disponible se refiere. Los componentes fueron posteriormente ensamblados en un solo paquete de software capaz de utilizar éstas rutinas de diferente manera, como el cálculo separado de los índices o la ejecución de cálculos comparativos. También permite al usuario seleccionar entre un conjunto de índices organizados por países,

según su origen, lo que hará más fácil, obtener un resultado con mayor confiabilidad.

Estos ICO'S tienen importancia mundial, pues se implementaron con el Software ICATEST V1.0 Fernández et al., (2004), por medio del cual fue posible llevar a cabo un análisis comparativo entre estaciones y periodos de muestreo a partir de la aplicación de los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1998-1999), como fueron: ICOMO (índice de Contaminación por Materia Orgánica), ICOMI (Índice de Contaminación por mineralización); ICOSUS (Índice de Contaminación por Sólidos suspendidos), ICOpH (Índice de Contaminación por pH) e ICOTEMP (índice de contaminación por temperatura.

2.5. Marco legal.

2.5.1 Normatividad Internacional.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático (aprobada por ley 24295); Convención de las Naciones Unidas sobre la protección del patrimonio Mundial, Cultural y Natural (Aprobada por ley 21836); Acuerdo Marco sobre medio ambiente del MERCOSUR (Aprobado por ley 25841) y Convención de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (Aprobada por ley 24375). Arrellano días., J. & Guzmán Pantoja, J.E (2011).

2.5.2 Marco Normativo Medioambiental de Colombia.

Tal como dice (Javier Arellano Diaz, (2011), p.170. La constitución Política de Colombia de 1991 elevó a norma constitucional la consideración y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de los siguientes principios Fundamentales: Principios y Valores de la Constitución Política en materia de Protección de los recursos Naturales. Se incluyen los derechos y deberes del estado y de los particulares en relación con

el medio ambiente.

Artículo 1. Colombia es un estado social de derecho, fundada en el respeto de la dignidad Humana, en el trabajo y la solidaridad de las personas que lo integran.

Artículo 2. Son fines esenciales del estado: Servir a la comunidad, Garantizar la efectividad de los principios, derechos, deberes y facilitar la participación de todos en las decisiones que los afecta.

Artículo 6. Sobre la responsabilidad de cumplimiento de la ley para los particulares y servidores públicos.

Artículo 7. El Estado reconoce y protege la diversidad étnica y cultural de la nación colombiana.

Artículo 8. Obligación Conjunta Estado-Comunidad en la protección de las riquezas naturales y culturales de la nación. Derechos Garantías y Deberes. Javier Arellano Díaz (2011), relaciona los siguientes:

Artículos 20 y 23. Plantean el derecho de las comunidades a estar bien informadas.

Artículo 40, Numeral 6. Derechos Fundamentales. Todo ciudadano tiene derecho a Interponer acciones públicas en defensa de la constitución y la ley (Congreso de la República, 2015).

Artículo 49. La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del estado.

Artículo 58. Garantía de la función ecológica de la propiedad. El Estado promoverá y protegerá las formas asociativas y solidarias de la propiedad. Derecho a un ambiente sano.

Artículo 79. La constitución Nacional consagra. “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las

decisiones que la afectan. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”. (Congreso de la República, 2015). De acuerdo a Javier Arellano Diaz, (2011), “esta norma puede interpretarse de manera solidaria con el principio fundamental del derecho a la vida, ya que este sólo se podría garantizar bajo condiciones en las cuales la vida solo puede disfrutarse con calidad”. Arrellano días.,J. & Guzmán Pantoja, J.E (2011).

2.5.3. Marco Institucional Colombiano.

En Colombia los organismos responsables de la gestión de recursos Hídricos involucran a entidades del orden nacional, regional y local. Miniambiente.com (2020).

2.5.4. Marco Normativo Colombiano sobre la Calidad del agua.

Colombia cuenta con una extensa normatividad para manejar de forma racional el recurso Hídrico. No obstante, debido a la gran relevancia que se le ha dado al tema de agua potable y saneamiento básico, Dentro del contexto de la protección y conservación del recurso Hídrico. Es importante, no confundir la normatividad sobre “usos” del agua, con la de “mantenimiento de calidad”, si bien por ahora las normas para usos de las aguas marinas y no marinas casi están unificadas, no sucede así con las que se refieren a la calidad del recurso hídrico dada la multiplicidad de ministerios y entidades relacionadas con dicha problemática. Normalmente entonces se confunden las normas propiamente ambientales con las de salud pública. No en vano, cuando en Colombia las normas medioambientales seguían una visión antropocéntrica, iban por un lado las ambientales (Código y sus reglamentarias) y por otro las de salud (Código Sanitario Nacional o Ley 9 de 1979). (Gonzales, 2004, P. 18). Miniambiente.com (2020).

Capítulo 3: diseño metodológico

3.1. Diseño de Investigación

La investigación tiene un enfoque cuantitativo dada la razón de que vamos a confirmar de modo indirecto la calidad de agua que presenta la microcuenca abastecedora la quebrada Cundina ubicada en González, Cesar a través del análisis estadístico comparativo de las variables de calidad del agua que serán estudiadas con el instrumento paramétrico para poder comparar con respecto a los estándares establecidos por la normatividad legal vigente; con un diseño no experimental debido a que no se va a manipular deliberadamente variables que conforman el estado natural de la quebrada cundina; Solo se observaran los fenómenos tal y como se dan en su contexto para después analizarlos. De tipo exploratoria, transversal descriptiva y correlacional de índices y variables ya que la investigación describirá la realidad de las características que tiene el afluente de la quebrada Cundina del municipio de Gonzales cesar y el análisis de cada uno de los parámetros físicos químicos y microbiológicos en el segmento objeto de estudio ya determinado. Para lo cual se da a conocer que en el levantamiento de la información primaria (observación in situ) se delimitó o tuvo lugar un segmento del cauce en total de la microcuenca abastecedora la quebrada cundina y su tributario la quebrada san cayetano de 4.45 km y una longitud del cauce principal de la quebrada cundina de 2.3 Km entre el tramo comprendido aguas arriba de la bocatoma y el nacimiento de la fuente hídrica abastecedora de González, cesar para la realización del Monitoreo con el establecimiento de tres (3) estaciones de control-aforo para la implementación de un plan de Monitoreo que se realizará durante 10 meses, para el aprovechamiento del régimen bimodal de lluvias, típico de la zona con el fin de determinar la relación que existe entre conjunto de variables definidas para dicha investigación. La metodología de investigación será mixta con un alcance exploratorio, descriptivo y correlacional

de tipo transeccional descriptivo para el relacionamiento de sus variables in situ (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) que permitió explicar el fenómeno.

En este sentido a continuación se ilustra un esquema del Diseño de Investigación:

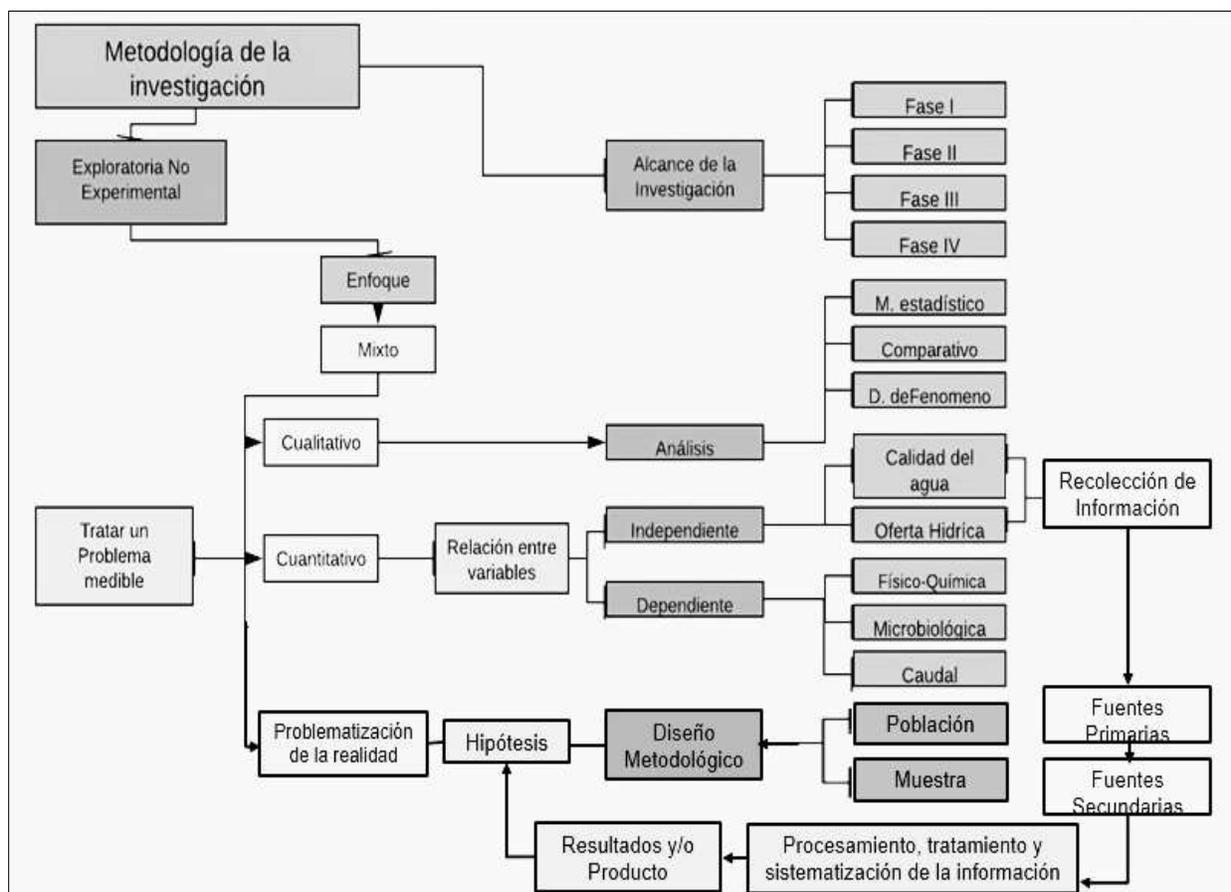


Figura 5. Propuesta de Diagrama de Investigación Calidad de la microcuenca la Q. Cundina

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. Adaptado de (Hernandez Sampieri, 2010).

La metodología a implementar según el diseño de investigación es la siguiente:

Recopilación y análisis de la información secundaria de la investigación; Reconocimiento preliminar del área y reconocimiento de las condiciones de la red hídrica; Levantamiento de la información primaria (en campo); Determinación de las tres Estaciones de control Monitoreo de la calidad de la microcuenca abastecedora la quebrada cundina para la realización de los tres muestreos de agua y aforos de caudales en cada periodo durante doce meses para su

posterior análisis de variables in situ Fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas de la microcuenca abastecedora la quebrada cundina, según lineamientos estándares permisibles; Observación in situ para el monitoreo de la calidad del agua de la microcuenca abastecedora la quebrada cundina por Diez meses; Análisis de laboratorio; Análisis comparativo de calidad (físico-químico y microbiológica) del agua de la microcuenca abastecedora la quebrada cundina; Estimación de los índices de calidad del agua mediante utilización de software código libre ICATEST, con enfoque de la metodología del IDEAM y la Metodología sobre Calidad del agua, evaluación y diagnóstico de Sierra Ramírez, C. A.,(2011); Análisis estadístico descriptivo y correlacional de los resultados arrojados de las diferentes variables físico químicas, microbiológicas y biológicas de calidad del agua y oferta superficial del agua (caudales por medio de coeficientes de correlación que determine la covariación, y de esta manera evaluar la calidad del agua y una Triangulación de resultados, Sistematización y Documentación de la información veraz y confiable.

3.2. Universo, población y muestra

3.2.1. Universo

Cuerpo de agua. Rio algodonal. (1605¹)

3.2.2. Población

Cuerpo de Agua. Quebrada Cundina.

Todos los morfotipos indicadores presentes en las tres estaciones de muestreo seleccionadas en la quebrada cundina. Comprenden: Bacterias, Macro-invertebrados Acuáticos.

1 codificación de la cuenca hidrográfica del rio algodonal; la cual integra a la microcuenca la Quebrada

Cundina según priorización del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

3.2.3. Muestra

La muestra seleccionada para esta investigación es un tramo de la quebrada cundina comprendido aguas arriba de la bocatoma y el nacimiento; el cual presenta dentro de su cauce principal una longitud de 2.3 kilómetros. Un Subgrupo seleccionado aleatoria o mecánicamente de la población presente en las tres (3) unidades de análisis. A saber, son:

E1: Punto Quebrada Cundina (Zona de Confluencia de la Quebrada San Cayetano y la Quebrada Cundina)

E2: Punto Quebrada Cundina ((100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia de la Quebrada San Cayetano y la Quebrada Cundina)

E3: Punto Quebrada San Cayetano ((560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia de la Quebrada San Cayetano y la Quebrada Cundina)

Determinación de una muestra aleatoria en la zona de influencia con la quebrada cundina por las actividades Agropecuarias desarrolladas por campesinos productores asentados en lo largo de la quebrada presente en la vereda San Cayetano. (Para efectos de la evaluación de Impactos socio-Ambientales generados a la calidad del agua debido al desarrollo de actividades agropecuarias a lo largo de este tributario.

3.2.4. Variables

Las variables definidas según el alcance de la investigación son de tipo Independiente y Dependiente a fin de soportar la hipótesis para la comprensión del fenómeno objeto de estudio:

3.2.4.1. Independientes

Calidad de la fuente superficial del agua de la Quebrada Cundina

Oferta hídrica superficial

3.2.4.2. Dependientes

Son las que se medirán, a partir del análisis de laboratorio para su correspondiente valoración y análisis estadístico correlacional, estimación de índices que permitirá la evaluación integral de la calidad y oferta de la Quebrada Cundina. Las variables a analizar son: Variables Físico-químicas; Microbiológicas del agua; Biológicas de la quebrada por bioindicadores de contaminación. A continuación, se discriminan en la siguiente tabla:

Tabla 6

Variables Físicoquímicas y microbiológicas

VARIABLE	LIMITE DE DETECCIÓN	METODO
pH (unidades de pH)	0.1	SM 4500.H+B, 2550-B
Temperatura (°C)	0.5	
Color	15 UPC	Colorimetría
Turbiedad	2.0 UNT	SM 2130B
Alcalinidad total	200 mg/L	volumétrico
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	Electrométrico
Conductividad	1000 uS/Cm	Electrométrico
Oxígeno disuelto (OD)	0.2 mg/l	% SATURACION Volumétrico
DBO5	0.2 mg/L	APHA-AWWA
DQO	mg/L	APHA-AWWA
Solidos totales	0.2 mg/L	Gravimétrico
Sólidos suspendidos	0.2 mg/L	Gravimétrico
Alcalinidad total		SM 2320 B
Coliformes totales	0 UFC/100 ml	MNP
Coliformes fecales E-coli	0 UFC/100 ml	MNP
Dureza total	2.0	SM 2340 C
Nitritos	0.1 mg/L	Fotométrico
Nitratos	10 mg/L	Fotométrico
Cloro libre	03-2 mg/L	

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.al citar a APHA, AWWA, WPF edición 21 (2012).

3.2.4.3. Variables Cualitativas.

Tipo de hábitat en la que se hacer el muestreo, composición de una muestra de agua (clasificación Taxonómica de macro invertebrados), ubicación de las unidades de muestreo.

3.2.4.3.1 Método cuantitativo

ICO's, Volumen de la muestra, Tiempo de preservación de la muestra, Volumen de reactivos aplicados, número de familias de macro invertebrados, cantidad de parámetros a evaluar, valores de los parámetros evaluados, distancias entre unidades de muestreo.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información.

Este apartado se desarrolla por Fases de Ejecución planeadas en el cronograma de investigación.

3.3.1. Fase I. Recolección de la Información.

La primera edición de Calidad del Agua de Sierra Ramírez, C. A.,(2011), evolución y diagnóstico, donde se trata a profundidad los índices de calidad de agua, y *la tercera edición de Rojas (2009) basada en la aplicación de procedimientos para los análisis bacteriológicos con criterios de calidad, indispensables a tener en cuenta para concluir los resultados.*

La evaluación y valoración de la calidad del agua para consumo humano del río algodonal entre los municipios de Abrego y Ocaña. Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017)., norte de Santander. Basado en un conjunto de acciones con enfoque metodológico adaptado de Sierra Ramírez, C. A.,(2011).

La evaluación de la calidad del agua para consumo humano mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en el río Algodonal. Revista Ingenio, Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez- Ortiz, E. A. (2016).

La primera edición de Caudal Ambiental. Conceptos, Experiencias y desafíos de Cantera Kindz, Carvajal E, y Castro H, (2009) donde se exponen de manera integral y con un nivel de detalle suficiente, las interacciones de los componentes de un caudal ecológico para el normal desarrollo de la biota acuática. Además, el capítulo once, presenta estudios de casos colombianos desde diferentes enfoques y con diversas metodologías, pero todos con el objetivo de ilustrar el

punto de partida para el desarrollo de investigaciones involucradas con el sector hídrico. De acuerdo a lo que cita Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017)

De igual forma, para las aguas superficiales dulces existe el manual de *W.R, (1978) de la EPA*, Así como el manual de métodos para el desarrollo de inventarios de Biodiversidad, de Villarreal H. & *et all.* (2004), los trabajos del instituto mi Río, (1997) en el río Medellín y los libros de ecología de Margalef, (1994). Además de la revisión del estudio realizado por la Organización Promotora Medio Ambiental (2008), al río Algodonal y al río tejo El manual: “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 22th. 2012” la cual contiene información de obligatoria consulta acerca de los métodos y técnicas estandarizadas para evaluar calidad del agua para consumo humano, los parámetros a considerar, los métodos de ensayo en laboratorio y una lista con las normas permisibles de comparación de resultados. De acuerdo a lo que cita Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017) El manual para análisis Básicos de calidad del agua de bebida publicado por la Organización Panamericana de la Salud y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS, 2004). Este documento aporta información Valiosa sobre Técnicas de Muestreo y Procedimientos en laboratorios. De acuerdo a lo que cita Hernandez López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017)

El libro: “Índices de Calidad y Contaminación del Agua” bajo la autoría de Fernández Parada y Fredy Solano (2005); quienes en tres capítulos ofrecen una visión panorámica de los aspectos principales de la valoración de la calidad del agua a través de indicadores de calidad y contaminación, a la vez que presentan en el mismo sentido, un análisis comparativo de los ICOs e ICAs de importancia mundial, sobre la base de su estructura matemática, similitud de parámetros y comportamiento interno frente a grupos de datos iguales. De acuerdo a lo que cita Hernández

López, k. M., & Ramírez martinez, r. D. (2017)

El manual titulado: Métodos de Colecta, Identificación y análisis de comunidades biológicas: Plancton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú, (2014) la cual es una publicación conjunta del Ministerio de ambiente y la Universidad mayor de San Marcos donde se exponen los métodos de evaluación de las comunidades biológicas en diversos ecosistemas acuáticos de gran parte del Perú. Esta fuente es útil para adelantar el componente biológico de la investigación. De acuerdo a lo que cita Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Los Resultados del Análisis y la Valoración del índice de calidad de agua ICA de la NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez, editados por BEHAR Roberto Q., (2003), en el cual se presenta una evaluación similar a la que aquí se desarrolla porque recolectaron información sobre la calidad físico-Química y biológica de estos ríos en distintos sitios que fueron seleccionados desde puntos altos, cerca de su nacimiento, hasta la desembocadura en el río cauca. De acuerdo a lo que cita Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Además de la publicación de Hernández (2012), en la Revista de Historia regional y local, donde se estudian las intervenciones realizadas por parte de la Sociedad de Mejoras Públicas de Medellín y la Administración Municipal de Medellín en el río Medellín, las gestiones para diseñar las obras de canalización y vías de comunicación, y las dificultades que afrontaron para ejecutarlas. La publicación de Zuluaga, (2011) en la revista caldasía donde comparan los resultados obtenidos en el estudio del río Negro llevados a cabo en el 2002 con los del 2007, empleando el BMWP/Col, el ASPT, el índice de diversidad (H') y el índice ICA. Por último, está la enciclopedia de la ecología y la salud de Valtueña, (2002). De acuerdo a lo que cita Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

Los Resultados publicados en la revista interamericana de contaminación del Medio ambiente acerca del uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación del agua y sedimentos. Los cuales midieron parámetros Órgano-Fosforados, Órgano-Clorados, carbamatos y su incidencia en la integridad acuática. De acuerdo a lo que cita Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017)

La primera edición del libro Estadística con SPSS v.23 escrita por el licenciado Quezada Lucio (2014), donde se exponen en forma sucinta métodos para el manejo de da de los datos a través de estadísticas descriptivas, el manejo de variables, la realización de pruebas no paramétricas y la realización de los gráficos útiles para el manejo estadístico de la información cualitativa y cuantitativa que se presenta en la investigación. De acuerdo a lo que cita Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017)

Fuentes de Información Institucional. CORCESAR Estudios de caracterización y Diagnostico del recurso hídrico realizados en la fuente superficial de la quebrada cundina y su tributario la quebrada san cayetano. Fase de Diagnostico del Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca del Alto Catatumbo. Cartografía básica y temática.

IDEAM. Metodología propuesta en la guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas en el decreto 3100 de 2003 (recolección y análisis de la información relacionada con hidrometría). Registros promedio de la Estación hidrológica permanente La Cabaña.

UFPSO. Estudios Relacionados con la Calidad y cantidad del Agua realizados en la Cuenca del Río Algodonal y el Río Tejo.

SERVIGO A.P.S. Registro de Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del Agua de la quebrada cundina Realizados por La Empresa.

Con La información recolectada, se realizará un proceso riguroso de confrontación o triangulación de los resultados que serán obtenidos en cada punto de monitoreo y por época de muestreo con la información levantada en campo con el desarrollo de esta investigación Por medio de graficas estadísticas, sin caer en un análisis comparativo de resultados.

A continuación, se muestra el plan de monitoreo

Plan de Monitoreo. Se prepara el plan de muestreo siguiendo el procedimiento estandarizado por el Instituto Nacional de Salud-INS-(2011) y el IDEAM , 2007.

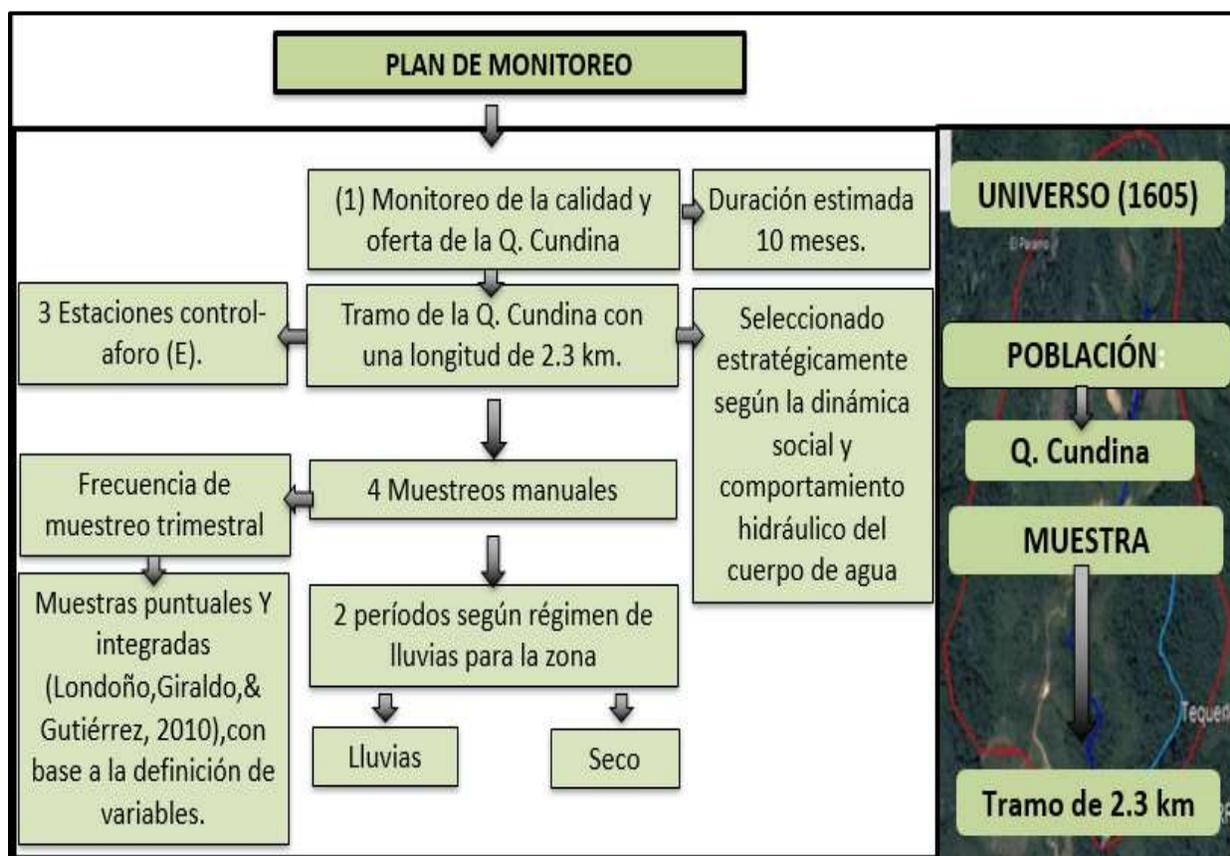


Figura 6. Esquema de Plan de Monitoreo para la Microcuenca abastecedora quebrada Cundina.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

En cada uno de los muestreos realizados en cada una de las estaciones de control de aforo se realizará lo siguiente:

Medición de Caudal, se medirá caudales con micro molinete o correntómetro y se

trazarán las secciones transversales para la determinación de áreas de cada sección; luego Toma muestras, las muestras serán tomadas directamente en la quebrada cundina luego de la realizar de la medición de caudal, pues se tomarán en toda la mitad de la sección; luego Medición de variables in situ, se media inmediato los parámetros de campo OD, Ph, Temperatura y por ultimo toma de variables puntuales e integradas, luego coliformes, metales, fosfatos, entre otros.

Fuentes de Investigación Primaria. Recolección de la Información Primaria: Observación in situ; Trabajo de Campo; Registro de Hojas de campo para cálculos; Aforo de Caudales; Toma de Muestras para análisis Biológico, Microbiológico y Físico Químico; Análisis y tratamiento de la Información.

Instrumentos Utilizados para la Recolección de la Información. Se discriminan en la tabla 7 los instrumentos que se utilizarán para el desarrollo de las actividades propuestas en el cronograma de investigación para la ejecución de la técnica que hace posible la recolección de la información.

Tabla 7
Equipos y Herramientas para Trabajo en Campo

Actividad ejecutada	Equipos y Herramientas
Georreferenciación	✓ Ficha de Campo para Geolocalización
	✓ GPS Garmin ETREX 10
	✓ Cámara Digital
	✓ Decámetro
Aforo de Caudales	✓ Decámetro
	✓ Hoja de campo para datos de Caudal
	✓ Termómetro Ambiental
Muestreo de Macro invertebrados bentónicos	✓ Correntómetro con molinete
	✓ Red de Mano
	✓ Marco D-net
	✓ Bandejas plásticas de Icopor
	✓ Frascos recolectores de vidrio Transparente (500 ml)
	✓ Cinta de Rotular resistente al agua.

Conservación de Muestras Biológicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Placas refrigerantes con gel de congelación de fusión Eutéctica ✓ Alcohol etílico al 70% ✓ Papel Aluminio como sello y aislante de muestras ✓ Cinta Indicadora Universal ✓ Papel periódico como aislante térmico y embalaje de protección en el transporte. ✓ Cavas de icopor con capacidad de 50 litros
Muestreo de Parámetros Físico-Químicos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Equipo Multiparamétrico ✓ Bitácora de Campo ✓ Frascos de Vidrio Ámbar 1000 ml ✓ Frascos de Vidrio transparente boca ancha tapa Rosca 500 ml ✓ Botellas plásticas 1000 y 2000 ml ✓ Bolsas Whirl Pack para Analisis Bacteriológico ✓ Botellas Winkler ✓ Balde plástico para muestras integradas ✓ Varilla de Agitación ✓ Cinta Indicadora Universal
Conservación y Transporte de Muestras Físico-Químicas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cavas de Refrigeración 50 litros ✓ Pipetas Pasteur ✓ Cinta de rotular resistente a la Humedad ✓ Cinta de Embalar ✓ Papel periódico de Embalaje ✓ Placas refrigerantes con gel de congelación de fusión Eutéctica

Nota: La tabla discrimina los equipos y Herramientas utilizados para la toma de datos en campo. La Mayoría de equipos, materiales que se relacionan serán proporcionados por los Laboratorios de calidad del agua, biología, química e Ictiología de la UFPSO y la UPB para desarrollo de la investigación. Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 8

Equipos materiales y reactivos utilizados en el laboratorio para el análisis de Parámetros físico-Químicos y Microbiológicos

Actividad Ejecutada	Materiales	Equipos	Reactivos
Reconocimiento e Identificación Macroinvertebrados Acuáticos	Claves de identificación Taxonómica para Macro-invertebrados acuáticos Cajas Petri. Pipetas graduadas. Asa de Drigalski.	Estereoscopios Cámara Fotográfica	-
Determinación de Col. Fecales, <i>E. coli</i> y <i>aerobios mesófilos</i>	Erlenmeyer. Tubos de ensayos de vidriotapa rosca Algodón y malla de lana.	Pipetiador. Cámara de Bioseguridad. Autoclave.	Caldo LMX fluorocoult

Determinación de Parámetros Físico-Químicos	Pipetas graduadas y Gravimétricas. probetas graduadas. Buretas graduadas de 25 ml.	Equipo multiparamétrico Espectrofotómetro Aparato de destilación	HNO ₃ (ácido Nítrico) H ₂ SO ₄ (ácido Sulfúrico)
---	--	--	--

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 9

Materiales y equipos que se utilizan en los laboratorios

Actividad Ejecutada	Materiales	Equipos	Reactivos
	Tubos de ensayos.	con destilador Graham	Azida de Sodio
	Pipeta Pasteur.	Cámara de bioseguridad.	Sulfato Manganoso
	Vasos de precipitados.	Cámara extractora de gases.	Sulfato de Magnesio
	Erlenmeyer.	Balanza de precisión sartorius BP 211D, 210g	Carbonato de Sodio
	Vidrio reloj.	Balanza analítica.	Dicromato de Potasio
	Capsulas de porcelana.	Placa de calentamiento	Cromato de Potasio al 5%
	Vasos buchi.	Estufas.	Solución Indicadora de Ferroina
	Cucharitas servidoras.	Horno WTB Binder a 103-105 0C.	Biftalato de Potasio
	Embudo de separación.	Bomba de vacío y equipo de filtración.	Sulfato Ferroso
	Balón volumétrico.	Desecadores.	Amoniaca (FAS).
	Embudo de vidrio.		Nitrato de Plata
	Agitadores magnéticos.		Cloruro de Sodio
	Varillas de agitación.		Solución Buffer de Fosfatos
	Peachimetro.		Cloruro de Calcio
	Papel de filtro de fibra de vidrio Whatman GF/C de 47		Cloruro Ferrico
	Pinzas para manipular los filtros.		Tiosulfato de Sodio
	Balón aforado.		Hidróxido de Sodio
	Tubos de boro silicato para Termoreactor HACH de 16X 10 mm.		Solución de Almidón
	Fibra de Vidrio		Biyodato de Potasio
			Yoduro de Potasio
			Acido Glutámico-Glucosa
			Azul de Metileno
			Fenoltaleína
			Cloroformo

Nota: los materiales, equipos y reactivos que relaciona la tabla fueron extraídos en su generalidad del *Standard Methods for examination of water and wastewater. 22th* (2012). Solo se relacionan los reactivos más importantes utilizados en laboratorio. Para el análisis de parámetros fisicoquímicos se contrató al laboratorio de Estudios ambientales de la - UPB- Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

3.3.2 Método para el Reconocimiento de los sitios de Muestreo

Como se ha venido dando a conocer para el presente trabajo de investigación en apartados anteriores, se seleccionarán estratégicamente tres (3) estaciones de referencia, ubicadas a distancias aleatorias en la microcuenca abastecedora quebrada cundina. En el tramo comprendido aguas arriba de la bocatoma y el nacimiento. De esta manera para distribuir las distancias entre estaciones se siguió la metodología propuesta por el IDEAM, (2006) el cual dice que entre estaciones a monitorear grupos bio-indicadores procurarse en la medida de lo posible distancias similares, excepto cuando las condiciones topográficas o de otra índole no lo permitan. Apoyando esta misma ,de reconocimiento de los sitios de muestreo se tiene en cuenta otro argumento que da a conocer Sierra Ramírez, C. A.,(2011) en su libro calidad del agua evaluación y diagnostico quien afirma que para poder establecer y distribuir el número de segmentos con el propósito de hacer un diagnóstico de la calidad del agua superficial actual debe tenerse en cuenta un aspecto muy importante que dice: “Cuando un vertimiento o tributario se considera que puede afectar la calidad del agua de la corriente principal, se debe establecer un nuevo segmento.”. (p.140); Teniendo según Sierra Ramírez. A.,(2011) que las estaciones de muestreo deberán localizarse preferiblemente donde existan estaciones limnigráficas. Estos sitios por lo general tienen la ventaja de que son de fácil acceso, se puede medir el caudal y tienen secciones estables que hacen que la muestra sea representativa. Si se va a caracterizar una descarga, deben realizarse muestreos antes y después del punto de vertimiento. Para el muestreo aguas abajo de la descarga, la muestra se toma después de la longitud de mezcla (ver numeral 10.5 en el capítulo 10). Si la corriente es muy ancha, puede existir gran variabilidad, lo cual hace necesario tomar varias muestras en la sección transversal o tomar una muestra integrada y por otro lado Debe haber al menos una estación de muestreo

localizada en las siguientes zonas:

Zona de descomposición activa, Punto de mínimo oxígeno disuelto y cambios bruscos en las características hidráulicas o geométricas de la corriente. Por ejemplo, después de la entrada de un tributario, un cambio de sección, etc. (p.229); Para efectos del presente estudio de muestreo biológico, en cada estación se definió un transepto de 400m x 20m (800 m²) cada uno. Dentro del protocolo de campo, se contempla aplicar las mismas técnicas de muestreo de los grupos bioindicadores seleccionados, en todos los puntos de censo.

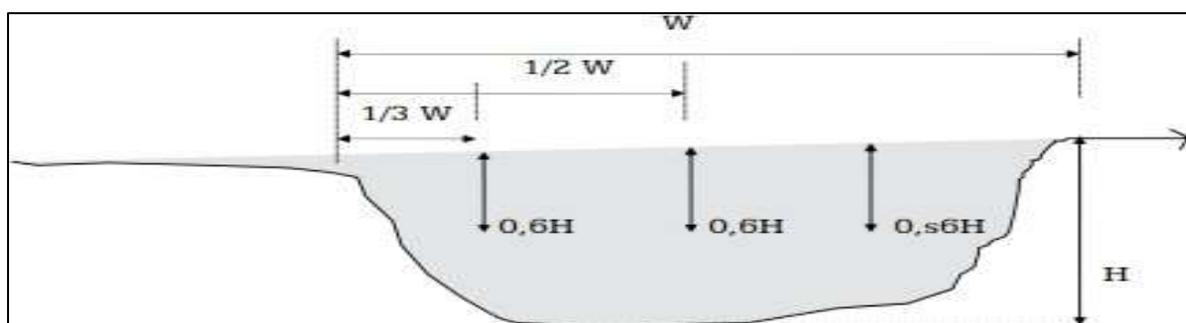


Figura 7. Localización de los puntos de muestreo en una sección transversal de una corriente o un canal
Fuente: Sierra Ramírez, C. A., (2011)

Por otra parte, en la bitácora de Campo de la presente investigación, se registrarán los detalles más relevantes percataados del entorno (estado de la cobertura vegetal, estructura del paisaje, topografía y estado del suelo, análisis del recurso hídrico, actividades y funciones realizadas en el área de influencia Directa- AID).

3.3.3. Método para la Geo-referenciación de las estaciones a Monitorear

En las tres (3) estaciones seleccionadas se identificarán los puntos más convenientes para referenciar de manera geográfica. Para tal efecto, se utilizó el GPS GARMIN ETREX 10. En forma seguida, tal como lo sugiere la Universidad Nacional de Costa Rica, (2015), “se deben tomar las coordenadas de los puntos, vigilando un margen de error de 1-5 para una lectura Confiable”. (p.27).

Método para Aforar en las estaciones de Muestreo.

3.3.4. Método para Aforar en las estaciones de Muestreo.

La oferta hídrica superficial como variable se analizó en términos de cantidad de flujo de agua (caudal) mediante la adopción del Protocolo para el Monitoreo y seguimiento del agua (IDEAM., 2007), donde el *Caudal* corresponde al volumen de agua que pasa instantáneamente por la sección de aforos en la unidad de tiempo y se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o en litros por segundo (l/s), cuando se manejan pequeñas magnitudes.

La medición de caudal se realizará con correntómetro, trazando secciones transversales en el cauce del Río, tal como se evidencia en la siguiente ilustración:

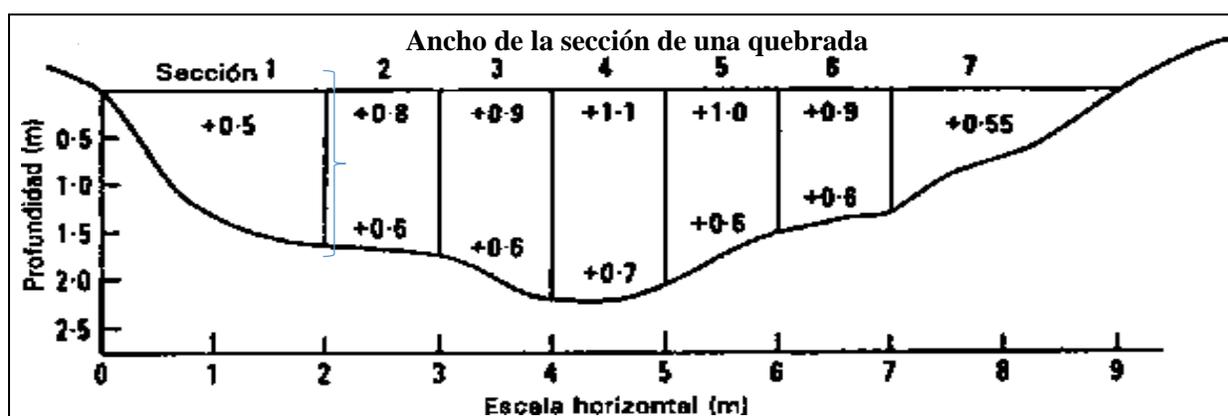


Figura 8. Esquema de Sección transversal del Cauce de un Río o Quebrada.

Fuente. FAO, (2015).

3.3.4.1. Métodos de Determinación de Caudales.

Mediante la aplicación de este método de aforo de caudales se aprovechará las diferencias de Velocidad en cada sección transversal de cada estación de control, entre dos puntos con magnitud conocida. En virtud de la topografía del terreno, se tomó diferentes profundidades en diferentes secciones; en cada punto se midió la distancia a la margen izquierda, margen derecha y la distancia desde el fondo, es decir, donde se sumergió el molinete a diferentes profundidades para determinar velocidad promedio en m/s en metros. Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017). Con los datos anteriores, se determinan los perfiles de flujo.

Una vez se obtenido los perfiles de flujo del Río, se calcularon las áreas de las secciones transversales, se promedió la velocidad y para el cálculo del caudal a partir de la ecuación: $Q=V \times A$; método que permitió corregir las variaciones en las velocidades de las corrientes en un tiro de profundidad que no se puede por otras técnicas.

Las mediciones de caudal están orientadas a conocer las características geométricas e hidráulicas del cauce en diferentes estados hidrológicos, asociados con las temporadas de lluvias. El caudal en una corriente de agua es función del área de la sección de aforos (A) y de la velocidad media del flujo (V) y se obtiene mediante el producto de las siguientes variables:

Velocidad del flujo del agua

Áreas de las Secciones transversales de las estaciones de control-aforo según régimen de lluvias durante los doce meses. Por tanto, se determinaron las Sección de aforos en cada una de las tres (3) Estaciones de control-aforo con el propósito de obtener mediciones confiables que permitieran facilitar la calibración total de la sección de aforos y que a su vez se tuviera facilidades logísticas para el desplazamiento del equipo investigador y con los equipos, de acuerdo a esto se buscó que la sección transversal cumpliera los siguientes requerimientos técnicos y logísticos:

La sección debe estar situada a un tramo recto de la corriente. En lo posible, la longitud del tramo tendrá un mínimo equivalente a tres (3) veces el ancho de la sección.

La corriente debe mostrar líneas de flujo uniformes y paralelas a las márgenes de la corriente e igualmente que sean normales a la sección transversal de aforos, de tal manera que la medición de la velocidad sea preciso para la obtención del caudal. Cualquier desviación en las líneas de flujo produce alteración en la magnitud, por cuanto vectorialmente no corresponde al 100% de la velocidad, sino a una componente de la misma.

La sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas, para evitar desbordamientos en aguas máximas, con lo cual se garantiza la calibración de caudales

máximos. La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme, evitándose tramos con quiebres fuertes de pendiente que desequilibran la velocidad del flujo (Manning), así mismo áreas de aguas muertas y contracorrientes o remolinos.

El lecho de la quebrada debe tener geometría regular, cauce estable y no tener obstáculos (troncos de árboles, grandes rocas, vegetación, etc.). y Se debe evitar los lechos fangosos.

La geología del terreno deberá facilitar la construcción de las obras para medición como tarabitas, puentes, pasarelas, etc.

El método que se empleará para la estimación de la variable de caudal será el método Área -velocidad o flotadores y el método volumétrico, dado que el caudal es función del área de la sección y la velocidad media del flujo, este procedimiento se basa en la determinación de estas variables. Este sistema de aforo es el de mayor uso y requiere que el flujo tenga un comportamiento laminar y que las líneas de flujo sean normales a la sección transversal de aforo. La precisión de las mediciones del caudal depende en gran parte del número de verticales que se tomen para la ejecución de las mediciones para el aforo, profundidad, velocidad, toma de muestras de agua, etc. Las abscisas de observación se deben definir de modo que se pueda precisar la variación de la configuración del lecho de la corriente y la variación vertical y horizontal de la velocidad. En general, la distancia entre verticales debe ser aquella que defina secciones parciales, por las cuales no pase más del 10% del caudal total.

Para cumplir tal requerimiento técnico, se tendrá como recomendación técnica tomar entre siete a quince verticales dependiendo del ancho de la sección, además de la uniformidad del fondo del cauce. De acuerdo a Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017) Al citar a FAO, (2015).

3.3.5. Fase II. Métodos y Procedimientos para la toma de muestras para análisis Físicoquímico. Frecuencia de Muestreos.

La frecuencia de los muestreos será trimestral (cada 3 meses) a fin de realizar los dos Muestreos programados para los 12 meses, de acuerdo a metodología del IDEAM para muestreo de agua de fuentes superficiales.

El presente Procedimiento se adelantará de acuerdo al plan de muestreo propuesto por el laboratorio de estudios Ambientales de la UPB-sede Bucaramanga, el cual se encuentra vinculado al desarrollo de la investigación, el *Instituto Nacional de Salud*, (2011) y considerando los procedimientos estandarizados por la *American Public Health Association*.

La tabla de preservación de muestras establecida en *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 22th, Edition, (2012)*, indican el parámetro, el volumen mínimo de la muestra, si lleva o no cabeza de aire el tipo de muestra (simple o integrada) y la técnica de preservación. No obstante, se extraen algunos apartados, que a nuestro juicio, resultan indispensables para garantizar un correcto muestreo.

En primer lugar, como se trata de un muestreo sobre un cuerpo de agua lotico sin muestrear vertimientos puntuales, los tipos de muestras que se tomarán en las unidades de análisis serán:

Muestra Simple o puntual. Es la muestra tomada en una sección de la quebrada, a una profundidad aproximada de 50 % de la altura total, en un tiempo específico. Esta muestra se obtiene al llenar, de manera inmediata, la totalidad de la capacidad del recipiente de volumen seleccionado destinado a la conformación de la muestra puntual. Para efectos de interferencias, “se debe evitar la formación de burbujas y que el agua golpee en las paredes o en el fondo con fuerza”. El (IDEAM, 1997, p. 1).

Muestra Integrada. Este tipo de muestra se compone recolectado Alícuotas de igual volumen en diferentes secciones de la quebrada individualmente. (...) Luego se mezcla y se

homogenizan las alícuotas en un mismo recipiente y se extrae el volumen de la muestra que irá al recipiente. (...) (Rodier, 1981).

Este tipo de muestra se realizará en la estación 1 donde las variaciones locales en composición son percibidas a simple vista por las confluencias de la quebrada cundina y su tributario la quebrada san cayetano.

3.3.6. Plan de Muestreo para Análisis Físico-Químico y Microbiológico

Se realizará un muestreo trimestral a partir de enero de 2021 durante cuatro (4) Meses, tomando un muestreo aleatorio en las tres (3) estaciones definidas para las temporadas estacionales de más lluvias y menos lluvias típicas de la región. Desde la confluencia de la quebrada cundina y su tributario la quebrada san cayetano hasta aguas arriba del nacimiento, teniendo en cuenta las zonas de intercambio de aguas de la quebrada cundina con sus principales afluentes, sean estos naturales o resultantes de proceso de canalización, se tomaron muestras representativas del estado actual del recurso hídrico para análisis de parámetros físico-Químicos, microbiológicos y biológicos. Para realizar el muestreo fisicoquímico las muestras serán colectadas siguiendo el procedimiento establecido por la EPA versión (2005), “el cual estandariza el siguiente procedimiento para Ríos, lagos, reservas, muelles, arroyos o aguas poco profundas” Como se citó en el (Instituto Nacional de Salud, 2011).

Utilizar un frasco preferentemente de Vidrio neutro no tóxico, esterilizable, de aproximadamente 500 ml y de boca ancha para facilitar la toma. En su defecto, el método permite usar encases de plástico estériles o botellas de agua mineral limpias (enjuagadas con agua destilada y 2-3 veces con el agua de la misma muestra a analizar) (ver plan de muestreo en tabla 7).

Si no hay corriente, se debe quitar el tapón con una mano, y con la otra se sumerge

rápidamente el frasco con la boca hacia abajo unos 30 cm, formando un Angulo de (45°), en sentido de la corriente; esperar que se llene y botar un poco; solo cuando lleve cabeza de aire. El objetivo de la cabeza de aire es dejar una cámara que mantenga la actividad aerobia dentro del frasco y que facilite la agitación del agua antes del examen.

En los sitios de gran corriente de agua, la boca del frasco debe dirigirse en contracorriente, para evitar que se introduzcan bacterias o contaminantes procedentes de los dedos de la mano.

Para garantizar las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las muestras, las muestras se refrigeran en cavas de Icopor con hielo o placas de congelación eutéctica a una temperatura media de aproximadamente de 4 °C hasta su entrega al laboratorio, en un periodo no superior a 24 horas.

Para definir el punto óptimo de muestreo, debe revisarse si la corriente de agua presente en la unidad de análisis cumple con los requisitos de mezcla y velocidad, los cuales evitan la sedimentación, acumulación de sólidos y liberación de gases. De no ser así, es necesario cambiar o trasladar varios metros la unidad de análisis. (Organización Promotora Medio Ambiental, 2008, p.23).

Para garantizar la calidad de la muestra, se preparó el plan de muestreo de acuerdo a lo que da conocer Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017) con las técnicas de recolección, preservación. Tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 10
Plan de Muestreo para análisis físico-químicos y Microbiológico

Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minino de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Tiempo Máximo de Almacenamiento	Preservación
Alcalinidad Total	1	500 mL/Plástico	No	No	14 días	refrigeración <= 6°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2	1000ml/ plástico	No	Si	48 horas	refrigeración <= 6°C

Fluoruros	1	500 mL/Plástico	Si	Si	28 días	refrigeración <= 6°C
DQO						
Dureza Total						
Fosforo Total						
Nitrógeno Amoniacal	1	2000 ml/ plástico	Si	Si		refrigeración <= 6°C, H2SO4 pH < a 2
Nitrógeno Kjeldahl						
Nitratos	1	500 mL/Plástico	Si	Si	48 Horas	refrigeración <= 6°C
Nitritos						
Cloruros	1	500 mL/Plástico	Si	Si	28 días	refrigeración <= 6°C
Solidos Suspendidos Totales						
Solidos Totales	1	1000 mL/Plástico	Si	Si	7 días	refrigeración <= 6°C
Solidos disueltos						
pH y Temperatura						
Turbiedad	1	500 mL/Plástico	NO	Si		refrigeración <= 6°C
Conductividad						
Oxígeno Disuelto						
Coliformes Totales	1	500 mL/plástico ò Vidrio Esterilizado	Si	Si	24 horas	refrigeración <= 6°C
Escherichia Ecoli						

Nota. Estos datos corresponden a un solo punto, si se requiere otro punto tomar la misma cantidad de muestra descrita en las tablas. Todas las muestras deben estar rotuladas con la siguiente información: Punto de muestreo, fecha y hora de la toma de muestra, identificación de la variable a analizar.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. Con información adaptada de Laboratorio de Estudios Ambientales/UPB Bucaramanga.

Tabla 11

Variables In situ a tomar en la Microcuenca abastecedora Quebrada Cundina

Parámetros In situ.
Temperatura
Oxígeno Disuelto

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. basado en el Protocolo Monitoreo de Aguas. Laboratorio de Estudios Ambientales/UPB-Bucaramanga.

Muestreo Químico: Recolección de muestras de agua con el objeto de analizar las variables químicas del agua y sustancias de interés sanitario:

Tabla 12

Variables químicas Ex situ en la Microcuenca abastecedora Quebrada Cundina

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	METODO LAB.
INDICADORES		
Conductividad	μS/cm	SM 2510 B
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	SM 2320 B
pH	Por análisis químico en una escala de 0 a 14	SM 4500-H+ B
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	SM 2340 C
SUSTANCIAS QUIMICAS		
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SM 4500-O C
Fluoruros	mg F-/L	SM 4500- F C
Cloruros	mg Cl-/L	SM 4500-Cl- B
Nitratos	mg NO ₃ /L	SM 4500-NO ₃ B
Nitritos	mg NO ₂ /L	SM 4500-NO ₂ B
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ /L	SM 4500-NH ₃ B, C
Tensoactivos		
DBO ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B, SM 4500-O C
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220 C
Organoclorados	μg/L	EPA 3510C- EPA 8081 B -
Hidrocarburos totales	mg TPH /L	EPA 8015C
Organofosforados	μg/L	EPA 3510C-EPA 8141 B

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Para asegurar que las variables in situ cumplieran con los requisitos de calidad para la medición, el laboratorio tiene desarrollado procedimientos de verificación y calibración de equipos y materiales. En tercer lugar, se tomaron las muestras para las variables químicas según orden de toma de muestras dadas por el Protocolo del Laboratorio de Estudios Ambientales de la UPB/Bucaramanga, el orden será el siguiente: Coliformes totales, coliformes fecales, alcalinidad total, DBO₅, DQO, Fosfatos, Nitratos, nitritos, sulfatos, entre otros. Una vez finalizado cada muestreo se realizará cadena de custodia y se procederá al proceso de preservación y conservación de las muestras según parámetros para su correspondiente transporte y recepción de muestras a nivel de laboratorio.

Técnicas de muestreo. Los muestreos que se realizarán para la evaluación integral de la calidad del Agua de la quebrada son los siguientes:

Muestreo Físico se determinarán parámetros físicos organolépticos que permitirán detectar presencia de sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua, para lo cual se analizan las siguientes variables:

Tabla 13

Variables físicas Ex situ en la Microcuenca abastecedora Quebrada Cundina

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	METODO
Color Real	UPtCo	SM 2120 C
Turbiedad	UNT	SM 2130 B
Temperatura	°C	SM 2550 B
Solidos Suspendidos Totales SST	mg SST/L	SM 2540 D
Solidos Totales (ST)	mg SST/L	SM 2540 B

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

3.3.7. Métodos y Procedimientos para la toma de Muestras Para Análisis Microbiológico.

Para efectos del Análisis Microbiológico, en cada estación las muestras se coleccionarán de forma puntual en la mitad de la sección de la quebrada en bolsas Whirl Pack estériles y aforadas. Una vez en el punto medio de la quebrada se retirará el cierre hermético de la bolsa y se introducirá en la lámina de agua. Sólo dentro del flujo se abrirá y llenará la bolsa hasta la línea de aforo. Posteriormente, se procederá a sellar las costuras de la varilla y a doblar las bandas de cierre tres veces con un giro hacia atrás para asegurar la muestra. Esta técnica de muestreo garantizará un volumen suficiente que permite el análisis o la posible identificación de los siguientes grupos microbiológicos propuestos: Coliformes Totales, *E-coli*. Recuento de Heterótrofos: En profundidad, en superficie y filtración por membrana, Identificación de Géneros de *Streptococcus sp.*, *Enterococos fecales*, *Vibrio cholerae*, *Pseudomonas aeruginosa* y Identificación de Microorganismos de la familia Enterobacteriácea, (Organización Mundial de

la Salud-OMS-, 2012, p.117).

Muestreo Microbiológico: Recolección de muestras de agua con el objeto de analizar variables indicadoras de contaminación orgánica en el agua.

Muestras microbiológicas: Se tomarán las muestras in situ con bolsas de Whirpack para Coliformes totales, Coliformes fecales E. Coli., y A. Mesófilos en cada una de las estaciones de control por muestreo. Una vez tomadas la muestra se realizará la correspondiente cadena de custodia para la realización del procedimiento de preservación de las mismas, pues estas se mantuvieron refrigeradas en recipientes cavas de material de Icopor, las cuales contenían placas refrigerantes mientras se finalizaba el monitoreo y fueron decepcionadas en el laboratorio.



Figura 9. Cadena de Custodia para la preservación y conservación de las muestras
Fuente. Según Imagen tomada Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 14

Variables microbiológicas Ex situ

VARIABLES	UNIDAD DE MEDIDA	METODOS
Coliformes Totales	NMP 100/L	SM 9221 B
Coliformes Fecales - E-Coli	NMP 100/L	SM 9223 B

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021., Con información adaptada de Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017).

3.3.8. Métodos y Procedimientos para el muestreo de Macro invertebrados bentónicos.

Se realizará un muestreo trimestral con un enfoque muy parecido al que emplea Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017) en las mismas estaciones al muestreo físico-químico para mayor representatividad de las condiciones ecológicas existentes al tiempo y espacio a partir de enero del año 2021 durante cuatro (4) Meses. La intensidad del muestreo, tal como lo establece Montoya., et al (2007) se planeó de 30 minutos por cada estación. Tomando registros fotográficos a cada hábitat identificado. Para la colección de macro invertebrados en sustratos pedregosos, se utilizaron redes especializadas tipo D-net con malla de 300 μ , una red de pantalla de 1m², Red surber con un tejido cónico menor o igual a 0,5 mm. Además de una recolección manual. El procedimiento de colecta de macro invertebrados aplicado en las cinco estaciones fue el sugerido por el IDEAM (2006), con algunas modificaciones extraídas de Ceiba Foundation Tropical Conservation, (2013), para evitar la erosión de poblaciones de grupos bioindicadores en el río. Para formar una muestra representativa de macro invertebrados destinados efectos de Cálculo del BMWP/col se tomaron (3) sub-muestras colectadas en diferentes hábitats de la quebrada para cada estación a monitorear. Hay que tener en cuenta que cuando se hace colecta en los rápidos, es necesario coleccionar en ambos lados del rápido. Es decir, corriente abajo y corriente arriba de la sección. Juntos harán una sub-muestra. Para coleccionar en un rápido, la persona deberá situarse corriente abajo y moverse quebrada arriba, colocando la red al fondo del río. Con ayuda del pie se debe agitar el fondo del sustrato y con las manos, fregar las piedras para remover los macro invertebrados. Este procedimiento deberá ejercerse en ambas secciones del rápido por dos minutos cada uno. El contenido de la red para una sub-muestra, deberá colocarse en el recipiente o bandeja de colección. En los Hábitats de Orillas sobre colgadas la red debe raspar a

lo largo de la orilla para remover los macro invertebrados. Este procedimiento se debe repetir al menos veinte (20) veces para obtener una sub-muestra. Si se utiliza la red Nyal deberá usarse la técnica de pesca en orillas de sustratos. El contenido de la red con la sub-muestra deberá depositarse en la bandeja de colección. En los sustratos fungosos, por lo general, “ricos en materia orgánica en descomposición, por lo que a menudo pueden ocurrir bajas de Oxígeno restringiendo la vida presente, se debe muestrear haciendo un barrido con un cernidor o coladera, separando las larvas para su conteo e identificación” (Pérez, 2008, p.21).

Los troncos salientes comunes en las márgenes de la quebrada, constituyen otro tipo de habitas donde los macroinvertebrados pueden adherirse a él. Se usa la red o la coladera para raspara por debajo del tronco y frotarlo al menos veinte (20) veces por debajo de la parte inferior para coleccionar una sub- muestra de bentos. Igual que las ocasiones anteriores, el contenido de la red deberá llevarse al recipiente. Para muestrear en los hábitats formados por hojarasca flotante basta con colocar la red quebrada abajo de la Hojarasca y luego mover las hojas para que la mayoría entre en la red. Una vez hecho esto, se depositará el contenido en un recipiente parte para seleccionar los macro invertebrados coleccionados antes de combinarlos en el recipiente con las demás submuestras. (streams., 2013).



Figura 11.(A) Red D-net



Figura 12. (B) Tamizador Manual



Figura 10.(C) Red Pantalla

Fuente: Identificación y análisis de comunidades biológicas: (macroinvertebrados) en superficies de la microcuena abastecedora quebrada cundina. [Imagen]. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

3.3.9. Métodos para preservación de la Muestra Etiquetado y Transporte.

Según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017) Las placas deberán refrigerarse durante el tiempo de traslado de la muestra del sitio de muestreo al laboratorio mediante una refrigeración usando placas de gel con congelación eutéctica en un refrigerador de Icopor, de tal manera que mantenga un Temperatura constante de 105 conservación a 4° C. Esta práctica siempre es útil e indispensable, pues la refrigeración inhibe un considerable número de procesos naturales.

Para evitar filtraciones todas las muestras se envolvieron en su parte superior con cinta de enmascarar, cinta transparente y tapas herméticas en los recipientes. Como consejo adicional, En campo, las neveras en Icopor deben mantenerse generalmente en la sombra para permitir una mayor conservación de la temperatura. (Ministerio de Ambiente del Perú , 2014, p.84). Todas las muestras se etiquetarán para facilitar su identificación, En el papel resistente al agua se diligenciaron los siguientes datos”.

Coordenadas de referenciación de la estación, Colector, Fecha y Hora de la Colecta, Tipo de muestra (cualitativa-Cuantitativa) Tipo de Grupo bioindicador, Método de colecta , Datos de la localidad, La cuenca, Tipo de sustrato. Lo mismos Datos se anotarán en la libreta de Campo.

Métodos de preservación de Muestras de Macroinvertebrados Bentónicos. Las muestras extraídas se colocaron en una bandeja blanca, de allí con la ayuda de pinzas y lupas se pasan los organismos a frascos con alcohol etílico al 70%, para su posterior identificación en el laboratorio. Cabe anotar que la cantidad del preservante debe ser la suficiente para que cubra toda la muestra colectada. (Roldan,G., 1988). 106

Métodos de preservación de Muestras para Análisis Microbiológico de bacterias. De

acuerdo a la Environmental Protección Agency, (1974), La refrigeración a temperaturas cercanas al punto de congelación (4°C) es la mejor técnica de conservación de las muestras. Actúa como inhibidor bacteriano. El tiempo máximo recomendable para análisis de las pruebas en laboratorios es de 24 horas.

3.3.10. Recipientes y volúmenes de muestras.

Durante los dos muestreos que se realizarán, según plan de monitoreo definido en la metodología de la presente investigación se utilizarán diferentes tipos de recipientes, empaques y/o demás de acuerdo a las variables que se analizarán a nivel de laboratorio, de acuerdo al protocolo de procedimiento y cadena de custodia determinada por el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana/Bucaramanga; en coherencia claro está con lo definido por el protocolo del IDEAM para la toma de muestras.



Figura 13. Procedimiento para envasado de muestras por Rueda, H., & Solano, A., 2021. Y según Martínez R., Hernández K., & Miranda R., 2016

Fuente: Imagen tomada por Rueda, H., & Solano, A., 2021 y adaptada de Martínez R., Hernández K., & Miranda R., 2016; Rueda, H., & Solano, A., 2021.

El rotulado utilizado para la marcación de las muestras fue con Stickers, tal como se evidencia en la tabla 15 y tabla 16.

Tabla 15
Información de los rótulos de las muestras

Ubicación.
Nombre de la fuente
Tipo de muestra
Fecha y hora
Parámetro
Preservación
Observaciones
Responsables

Nota: todos los recipientes y bolsas se rotularon debidamente (IDEAM., 2007) para enviar a laboratorio. De hecho, todas las muestras tomadas se identificaron con Stickers (rótulos adhesivos).

Fuente. Miranda R., 2016 Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 16
Stickers para la marcación de la muestra de agua

Fecha:	Hora:	
Empresa:		
Ciudad/Dpto.:		
Tipo de Muestra:		
Puntual	Compuesta	Integrada
Tipo de Preservación:		
Refrigeración	H2SO4	HNO3
Tiosulfato		
Punto de Muestreo:		
Responsable:		

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. adaptado del Laboratorio de Estudios Ambientales de la UPB/Bucaramanga, 2016.

3.3.11. Fase III. Evaluación de Parámetros Físicoquímicos y Grupos Biológicos en laboratorio.

Procedimientos para análisis de variables a nivel de laboratorio. Las variables dependientes de análisis se definirán con base a los parámetros físicoquímicos establecidos en el Decreto N° 1594 del 1984, capítulo IV, donde se define técnicamente los criterios de calidad para fuentes superficiales con fines de destinación para consumo humano, las cuales se analizaron a nivel del del laboratorio de estudios ambientales-UPB, sede Bucaramanga. A continuación, se detallan los criterios a evaluar:

Tabla 17
Criterios de calidad a nivel laboratorio (Ministerio de Agricultura., 1984)

Referencia	Expresión	Valor (expresados en miligramos por litro mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.)
Nitrógeno amoniacal	N	1.0
Cloruros	Cl-	250.0
Nitritos	NO ₂ -	1.0
Nitratos	NO ₃ -	10.0
Color total	Color Real	75 unidades Escala Platino Cobalto
Dureza total	CaCO ₃	300*
Alcalinidad total	CaCO ₃	200
DQO	Demanda Química de O ₂	Indirecta**
DBO5	Demanda Biológica de O ₂ periodo de 5 días	Indirecta
OD	Oxígeno Disuelto	
Ph	Unidades de pH	5.0-9.0 Unidades
Turbiedad	Unidades Jackson de Turbiedad-UJT-	10
Sólidos totales	Sólidos Totales -ST	-
Sólidos suspendidos totales	Sólidos Suspendidos Totales -SST	-
Coliformes fecales	Unidades Formadoras de Colonia- UFC-	20.000
Coliformes totales	UFC	2000

Nota. *Los valores admisibles para los Parámetros de Dureza y la Alcalinidad Total que se discriminan en el cuadro; si bien no aparecen dentro de los criterios de calidad admisible para la destinación del recurso Humano y Doméstico, art. 38, sobre las Características Físicas-Químicas del agua para consumo Humano y que tienen efectos Indirectos sobre la salud Humana.** Los Parámetros de demanda Bioquímica de O₂ a cinco (5) días–DBO5- y Demanda Química de O₂ –DQO- No están contemplados en el art. 38 del Decreto 1594, (1984) sobre los criterios de calidad admisible para agua de consumo Humano, pero son correlacionales a otro tipo de parámetros que sí están legislados. Por tanto, se considera su determinación para el análisis conjunto de resultados. Al margen de que los valores admisibles de concentración son más estrictos en la resolución 2115 (2007) sobre los valores máximo legales admisibles para el agua potable y que los mismos parámetros de los que habla la nota, no sean tenidos en cuenta como indispensables para la captación de agua con fines de consumo humano, se consideró necesario extraer la referencia para comparar resultados obtenidos de los parámetros evaluados en laboratorio.

Fuente. Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017) Tomado del Decreto 1594 (1984) y el decreto 0631 del 2015 Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

En cada uno de los muestreos se realizará en cada estación de control los correspondientes aforos de caudales según la metodología del IDEAM para análisis de la dinámica del agua, sus velocidades y caudales. Se aplicó el método de aforo de caudales área-velocidad/ Área o flotadores para las estaciones (E1 y E2) y el método volumétrico para la

estación (E3) con base al Protocolo para el Monitoreo y seguimiento del agua establecido por el IDEAM. Se determinaron dos (2) variables para el cálculo de los caudales: Área de la sección y Velocidad del flujo.

Evaluación de Parámetros Físico-Químicos, Microbiológicos. El manual de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012), normaliza los métodos de evaluación para cada variable físico-química y microbiológica evaluada. En el apéndice E.

Macroinvertebrados Bentónicos. Identificación en Ex situ con la ayuda de fotografías y de claves de identificación taxonómicas. Se registraron datos hasta el nivel taxonómico de familia, asignando la puntuación del grado de tolerancia.

Tabla 18

Claves de identificación taxonómicas utilizadas para la identificación de grupos Bioindicadores

Macroinvertebrados Bentónicos
ID-TAX - Macro-invertebrados. (Software) (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2016)
Clave Dicotómica para la identificación de Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2011)
Guía para la identificación de Invertebrados Acuáticos. (Palma, 2013)
River Key. Citizen-based Water Monitoring Network. (University of Wisconsin, 2016)

Nota. La tabla relaciona las fuentes más importantes de consulta utilizadas para la identificación de Macro invertebrados bentónicos. Fuente. Grupo de Investigación.

Fuente. Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017) Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Identificación de Coliformes Totales y E.coli. Para hacer la identificación y recuento de Coliformes totales y E.coli en el laboratorio de calidad del agua de la UFPSO se trabaja con la técnica de tubos múltiples de fermentación (número más probable-NMP), sustrato definido y el Test de Mackenzie recomendado por el Ministerio de Salud (1984), el cual reduce el tiempo de prueba a 24 horas.

Básicamente el procedimiento es preparar en tubos de ensayo con tapa rosca nueve (9) ml caldo LMX- fluorocult para un (1) ml de la muestra. Se debe hacer tres (3) diluciones decrecientes, la primera 1 mL, 0,1 mL y 0,01 mL para la tercera dilución por cada muestra de cada estación. Cada dilución se hará por triplicado. Es decir, nueve (9) tubos preparados por cada estación. Una vez preparados los tubos, se debe agitar suavemente y llevarse a incubar a 37°C durante 24 horas.

La presencia de coliformes totales o resultado positivo se percibe por el cambio de color de un amarillo claro a un verde azulado. Para la identificación de E.coli se realiza un TEST de Mackenzie cuyo resultado final para una muestra positiva será la observación de una fluorescencia luego de haber colocado los tubos bajo una lampara de Luz UV y un Halo cereza en la parte superior del tubo de ensayo que indica presencia de indo por reacción con el reactivo kovac lo cual es indicador de la presencia de E. coli. (Cabrera y García, 2006, p. 39).
Reporte de Resultados. La densidad de coliformes se expresa como el número más probable de coliformes (NMP) en 100 mL de aguas. (...) el NMP se busca en tablas estadísticas de acuerdo con un código formado por la combinación de los tubos positivos y negativos obtenidos Tal como lo establece el Ministerio de Salud y el IDEAM. El reporte de aerobios mesófilos de hará en UFC/100 mL.

3.4. Fase IV. Análisis y Tratamiento de la Información

3.4.1. Análisis de reporte de Resultados Físicoquímicos y Bacteriológicos del Laboratorio.

En el *apéndice D* se establecen los estándares nacionales con los límites permisibles fijados de acuerdo al decreto 1594 (1984) para la destinación del recurso para consumo humano y la resolución 2115/2007 (criterios de agua potable) expedida por el Ministerio de la

Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2007) y los estándares internacionales expedidos por la OMS (1996).

3.4.2. Determinación de los ICAs (Índice de calidad del agua en corrientes superficiales)

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t . Según (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

Tabla 19
Variables y ponderaciones para el caso de 5 variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD.	% Saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,2
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,2
Conductividad eléctrica, C.E.	μ S/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: Adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. del (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

Tabla 20
Variables y ponderaciones para el caso de 6 variables

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno disuelto, OD.	% Saturación	0,17
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0,17
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0,17
NT/PT	-	0,17
Conductividad eléctrica, C.E.	μ S/cm	0,17
pH	Unidades de pH	0,15

Fuente: Adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. del (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011).

Tabla 21
Ecuaciones para determinar el ICA

Ecuación del indicador	Descripción
IOD	<p>Inicialmente se calcula el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD}:</p> $PS_{OD} = (O_x \cdot 100) / CP$ $I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 \cdot PS_{OD})$
ISST	<p>Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%:</p> $I_{OD} = 1 - (0,01 \cdot PS_{OD} - 1)$ <p>El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calcula como sigue:</p> $I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$ <p>Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$ Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$</p> <p>Mediante adaptación de la propuesta de la Universidad Politécnica de Catalunya se calcula con la fórmula:</p>
IDQO	<p>Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$</p> <p>si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$ si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$ si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$ si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$</p> <p>La fórmula para calcular el subíndice de calidad para NT/PT es:</p> <p>si $15 \leq NT / PT \leq 20$, entonces $I_{NT/PT} = 0,8$</p>
INT / PT	<p>si $10 < NT / PT < 15$, entonces $I_{NT/PT} = 0,6$</p> <p>si $5 < NT / PT \leq 10$, entonces $I_{NT/PT} = 0,35$</p> <p>si $NT / PT \leq 5$, ó $NT / PT > 20$, entonces $I_{NT/PT} = 0,15$</p>
I.C.E.	<p>Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química, refleja la mineralización. Se calcula como sigue:</p> $I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \cdot \log 10 C.E.)}$ <p>Cuando $I_{C.E.} < 0$, entonces $I_{C.E.} = 0$.</p> <p>Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas.</p>
IpH	<p>Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$ ($pH > 0,520025$)</p> <p>Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \cdot e^{(pH - 4) / 3}$</p> <p>Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$</p> <p>Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 \cdot e^{-(pH - 8) / 3}$</p> <p>Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$</p>

Nota. En las anteriores tablas se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador para los casos en los que se emplea 5 o 6 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo según lo propuesto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2011; evaluados en las estaciones definidas en la microcuenca abastecedora quebrada cundina y sus tributarios.

Fuente: Adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. del (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

Tabla 22

Concentración de oxígeno disuelto equivalente a un grado de saturación del 100 por cien

Temperatura(°C)	OD (mg/l)	temperatura. (°C)	OD (mg/l)
0	14.6	16	9.9
1	14.2	17	9.7
2	13.8	18	9.6
3	13.5	19	9.3
4	13.1	20	9.1
5	12.8	21	8.9
6	12.5	22	8.7
7	12.1	23	8.6
8	11.8	24	8.4
9	11.6	25	8.3
10	11.3	26	8.1
11	11.0	27	8.0
12	10.8	28	7.8
13	10.5	29	7.7
14	10.3	30	7.6
15	10.1	31	7.5

Nota: La tabla anterior muestra la concentración de oxígeno disuelto equivalente a un grado de saturación del 100 por cien para la temperatura anotada (y la presión barométrica normal). Solo para agua dulce. Teniendo en cuenta que la presente tabla es de suma importancia para poder hallar el valor del índice de oxígeno disuelto por medio de la variable (Cp: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.) en el cálculo del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PSOD.

Fuente: información adaptada de (waterboards.com, S.f) por el GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Los resultados de los índices de calidad se compararán en una tabla con puntos de corte la cual asigna un rango numérico de cero (0) a uno (1). El grado de c del agua se clasificará en orden ascendente en una de las cinco categorías, tal como se muestra a continuación.

Tabla 23

Significancia de los índices de calidad del agua ICA

Clase	Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
I	0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
II	0,26 – 0,50	Mala	Naranja
III	0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
IV	0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
V	0,91 – 1,00	Buena	azul

Fuente: Adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. del (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011)

3.4.3. Determinación de los ICO's (índices de contaminación).

Se implementará el Software ICATEST V1.0 Fernández et al., (2004), por medio del cual

será posible llevar a cabo un análisis comparativo entre estaciones y periodos de muestreo a partir de la aplicación de los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1998-1999), como son: ICOMO (índice de Contaminación por Materia Orgánica), ICOMI (Indice de Contaminación por mineralización); ICOSUS (Indice de Contaminación por Sólidos suspendidos), ICOpH (Indice de Contaminación por pH) e ICOTEMP (índice de contaminación por temperatura).

Tabla 24

Método de Determinación de los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y viña (1997) que se evaluarán en la quebrada cundina.

Ecuación del indicador	Descripción
ICOMI= 1 (I. conductividad + I. Dureza + I. Alcalinidad). Cálculo del subíndice del indicador ICOMI I.Conductividad=Log10.I.Conductivida d= 3.26+1.34Log10.Conductividad (). I.Conductividad=10log.I.Conductividad I.Dureza=Log10. I.Dureza= 9.09+4.40Log10.Dureza (mg/lit). I.Dureza=10log.I.Dureza	ICOMI= Índice de contaminación por mineralización. Conductividades mayores a 270 μ S/cm tienen un índice de conductividad =1 Durezas mayores a 110 mg/lit tienen un índice =1. Durezas menores a 30 mg/lit tienen un índice =0
I. Alcalinidad= - 0.25+0.005Alcalinidad (mg/lit)	Alcalinidades mayores a 250 mg/lit tienen un índice de 1.Alcalinidades menores a 50 mg/lit tienen un índice de 0.
ICOMO=1 (I. DBO + I. Coliformes + I. Oxígeno %) Cálculo del subíndice del indicador ICOMO I DBO= -0.05+0.70Log10.DBO(mg/L) DBO<2 (mg/l) =0 I. coliformes totales= - 1.44+0.56Log10.Col.Tol (NMP/100ml) % %	ICOMO= índice de contaminación por materia orgánica. Conformado por demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno. Coliformes totales >20.000 (NMP/100ml)=1 Coliformes totales <500 (NMP/100ml)=0 Oxígenos (%)> a 100% tienen un índice de oxígeno de =0. Para sistemas lenticos con eutrofización y porcentajes de saturación > al 100% se sugiere reemplazar la ecuación por: Oxígeno %= 0.01 oxígeno%-1 ICOSUS= índice de contaminación por solidos suspendidos Solidos suspendidos > a 340 mg/l tienen un ICOSUS =1. Solidos suspendidos < a 10 mg/l tienen un ICOSUS =0. ICOTEMP= índice de contaminación por temperatura. Si la diferencia de temperatura es menor a 2.5°C (275.5°K), ICOTEMP=0 Si la diferencia de temperatura es mayor a 15.0°C (288.5°K), ICOTEMP=1
ICOSUS= -0.02+0.0003 solidos suspendidos(mg/L)	Solidos suspendidos > a 340 mg/l tienen un ICOSUS =1. Solidos suspendidos < a 10 mg/l tienen un ICOSUS =0.
ICOTEMP= - 0.49+1.27Log(Temp.vertimiento- Temp.cursoreceptor)	
ICOpH= e-31.08+3.45pH/ 1+e-31.08+3.45pH	ICOpH= índice de contaminación por pH

Nota. La tabla relaciona la información necesaria para el cálculo de tres (3) índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1997) evaluados en las estaciones definidas en la microcuenca abastecedora quebrada cundina y sus tributarios.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. con base en información adaptada del Capítulo III. Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de Importancia mundial.

Del libro Índices de Calidad y Contaminación del agua. Fernández Parada y Frey, (2005).

Los resultados de los índices se compararán en una tabla con puntos de corte la cual asigna un rango numérico de cero (0) a uno (1). El grado de contaminación del agua se clasificará en orden ascendente en una de las cinco categorías, tal como se muestra a continuación.

Tabla 25

Significancia de los índices de contaminación ICOs

Clase	ICO	Grado de contaminación	Escala de color
I	0-0.2	Ninguna	
II	>0.2-0.4	Baja	
III	>0.4-0.6	Media	
IV	>0.6-0.8	Alta	
V	>0.8-1	Muy alta	

Nota. Al ingresar los parámetros determinados en el laboratorio de análisis, en forma directa se puede obtener la representación gráfica en cada índice, lo que permite observar el comportamiento comparativo de los valores de calidad, ICATEST permite guardar los datos respectivos a la muestra y cada una de las variables ingresadas en cada sesión en formato Excel, en un reporte o en un historial discriminado por índice, al igual se pueden elegir la cantidad de estaciones y de muestreos para analizar el comportamiento espacio-temporal de la calidad de agua respecto de cada formulación.

Fuente: Ramírez et al. (1999). Adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 26

Matriz Comparativa de Resultados

VARIABLES	LIMITE DE DETECCIÓN	METODO	RESULTADOS	COMPARATIVO RESPECTO A LA NORMA
pH/T°	0.1/5.0	SM4500.h+b,2550-B		
Color	15 UPC	Colorimetría		
Turbiedad	2.0 UNT	SM 2130 B		
Alcalinidad total	200mg/l	volumétrico		
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	Electrométrico		
Conductividad	1000 uS/Cm			
Oxígeno disuelto	0.2 mg/l	% Saturación volumétrico		
DBO5	0.2 mg/l	-		
DQO	mg/l	-		
Solidos totales	0.2 mg/l			
Solidos suspendidos		Gravimétrico		
Coliformes totales				
Coliformes fecales E-coli	0.0 UFC/100 ml	MNP		
Dureza total	2.0	SM 2340 C		
Nitritos	0.1 mg/l			
Nitratos	10 mg/l	Fotométrico		
Cloro libre	0.3-2.0 mg/l	-		

Fuente. Según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017) Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 20

3.4.4. Determinación de Índices de Calidad Biológica del Agua.

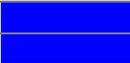
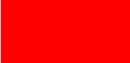
Con los resultados cuantitativos que se obtendrán en las tres estaciones durante los periodos de más y menos lluvias se calcularán los índice BMWP/col, el índice ASPT y el índice EPT. Como se explica a continuación. según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017)

Índice BMWP/Col. Para su cálculo se deberá hacer la suma de las puntuaciones ecológicas de las familias bioindicadoras identificadas en ambos muestreos según el grado de Tolerancia a la eutrofización. La siguiente tabla muestra la adaptación para Colombia de familias bioindicadores realizada por Zamora (1999).

Índice ASPT. Es la variante que surge de dividir el BMWP/ N° de Taxones totales involucradas en el cálculo. (Walley & Hawkes, 1997). Los valores de BMWP/Col y de ASPT se correlacionan con cinco grados de contaminación y con cinco colores que los representa en la cartografía de Calidad de las aguas (Alvares *et al.*, 2006).

Tabla 27

Valores de BMWP y ASPT con respecto a cada familia Bioindicadoras.

Clase	Calidad	Valor Del BMWP/col	Valor Del ASPT	Significado	Color
I	Buena	>150	>9-10	Aguas muy limpias	
		101-120	>8-9	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	>6.5-8	Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	36-60	>4.5-6.5	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Critica	16-35	>3-4.5	Aguas muy contaminadas	
V	Muy Critica	<15	1-3	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica.	

Nota. Fuente: Roldan (2003), Modificada en Álvarez (2006) Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

3.4.4. Tratamiento Estadístico.

A cada conjunto de datos fisicoquímicos y biológicos se realizarán análisis estadísticos descriptivos para conocer las medidas de tendencia central y las medidas de variabilidad

(desviación estándar y Varianza de los datos). El comportamiento observado se representó en gráficas de Histogramas y líneas con marcadores para diferenciar los puntos de quiebre.

Para seleccionar las variables fisicoquímicas más significativas para analizar criterios de calidad del agua, se realizará el análisis de correlación de Pearson que permite estimar en una matriz la naturaleza y fuerza de relación entre variables ambientales.

Para saber, cuáles son las familias de mayor importancia con respecto a la bioindicación de calidad del agua, se aplicó un método estadístico-descriptivo, que permite interpretar de manera clara y concisa, la abundancia de taxones por estaciones y épocas de muestreo. La salida de datos se representó por medio de gráficos de sedimentación y Distribución porcentual de las familias con mayores pesos estadísticos.

La asociación entre las variables fisicoquímicas y biológicas se explorarán mediante un análisis de correspondencia estadístico correlacional (SPSS) para evaluar la significancia estadística del ordenamiento de variables mediante su agrupamiento en una matriz para así poder evaluar La similitud entre estaciones, se evaluó el Índice de Jaccard a partir de una matriz de presencia/ausencia de las familias recolectadas en cada uno de los puntos y periodos de muestreo. La salida de resultados se representó en un Dendograma de Similitud.

Los análisis estadísticos serán realizados Utilizando los paquetes de Software estadísticos PAST ® versión 3.13 y SPSS Versión 23. según Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017)

Capítulo 4: Fase V. Presentación de Resultados y Discusiones

4.1. Caracterización del Recurso Hídrico Superficial

4.1.1. Caudal.

Los resultados del aforo en los tres puntos de monitoreo definidos a lo largo de la quebrada cundina, durante los dos periodos de muestreo, se muestran en las tablas a continuación.

Tabla 28

Caudales de las tres estaciones monitoreadas en época de más lluvia

Estaciones	Método de Aforo	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
1	Método área-velocidad o flotadores	0,174	174
2	Método área-velocidad o flotadores	0,284	284
3	Método volumétrico	0,002035	2,035
Media Aritmética		0,153345	153,345

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 29

Caudales de las tres estaciones monitoreados en época de menos lluvia

Estaciones	Método de Aforo	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
1	Método área-velocidad o flotadores	0,126	126
2	Método área-velocidad o flotadores	0,159	159
3	Método volumétrico	0,001956	1,956
Media Aritmética		0,095652	95,652

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 30

Estadísticos Descriptivos para los datos de caudal analizados

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
Valores de Caudales (m³/s)	6	0,001956	0,284	0,1244985	0,10871772	1,04954001

Nota: Los estadísticos descriptivos para efectos de confiabilidad de los datos de caudal tomados en los cuatro (4) muestreos son citados en la tabla anterior.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

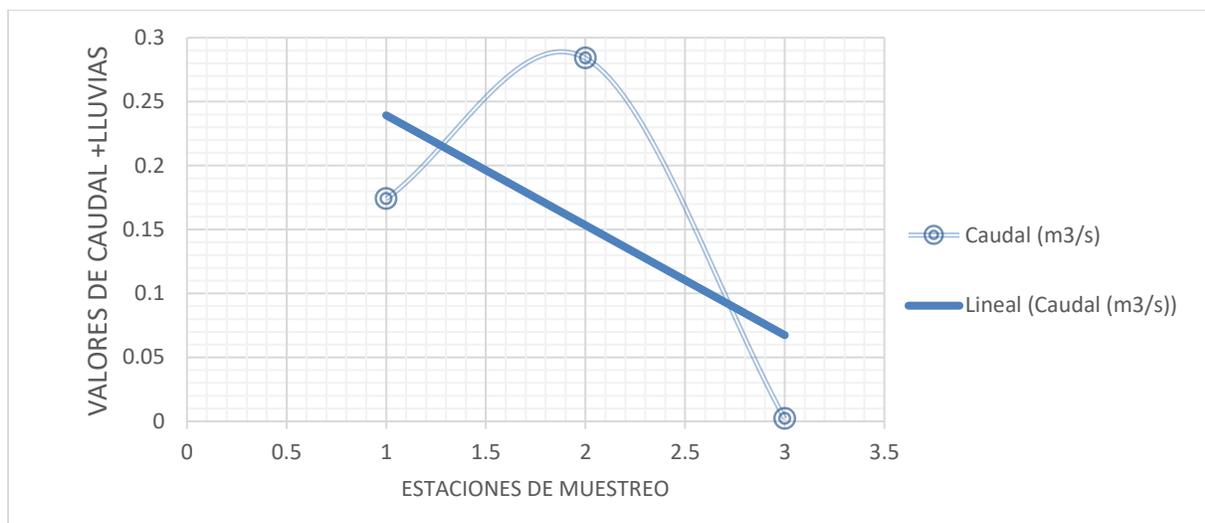


Figura 14. Curva de dispersión para los caudales medidos en las tres estaciones de más lluvia.
 Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
 Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

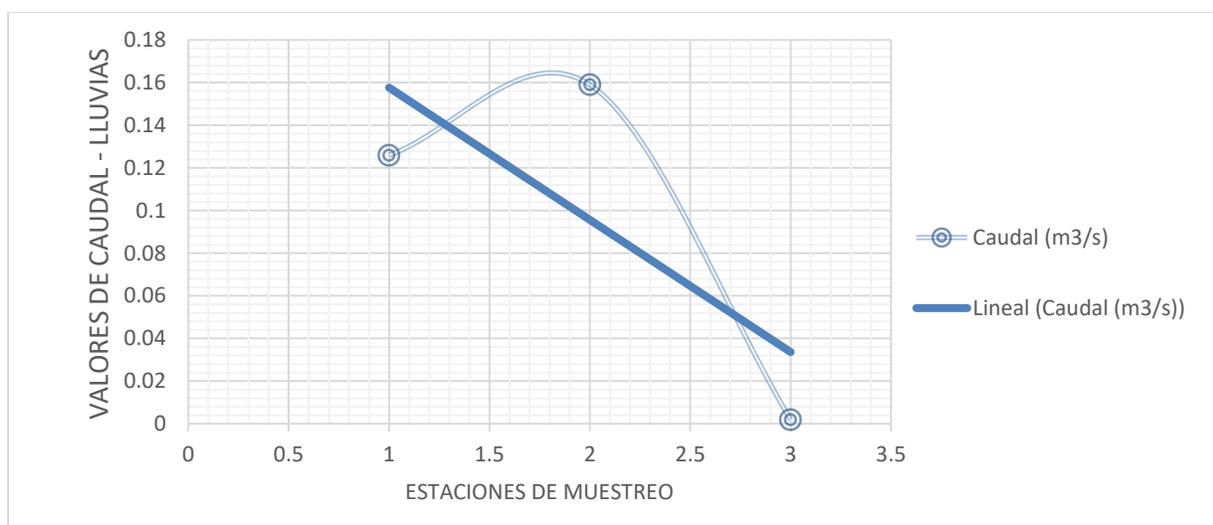


Figura 15. Curva de Dispersión para los caudales medidos en las tres estaciones en periodo de menos lluvias.
 Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
 Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Los aforos citados anteriormente fueron realizados en periodos de muestreos de menos lluvia (tiempo seco) y en periodos de más lluvia; dichos muestreos tuvieron lugar en las siguientes fechas (23 marzo 2021- 21 abril 2021- 25 mayo 2021- 20 de julio 2021) necesarios para el levantamiento de información sobre caudales en la microcuenca abastecedora

Quebrada Cundina, los cuales como se describirán a continuación estuvieron inmersos en un contexto de variabilidad climática caracterizada de la siguiente manera según el (Ideam, 2021). Para la primera fecha (23 marzo 2021) que corresponde al mes de marzo, se anunció como un mes de transición entre la primera temporada de menores precipitaciones del año; lo que indica que al evidenciarse una disminución significativa de las lluvias termino por afectar en cierta medida los caudales de las fuentes hídricas superficiales presentes en la región caribe. Para la segunda fecha (21 abril 2021) que corresponde al mes de abril, hizo parte de la primera temporada lluviosa del año por ello en la región caribe, fue normal que aumentaran los volúmenes de precipitación con respecto a marzo, principalmente al sur de Bolívar y cesar, así como la sierra nevada de santa Marta. Para la tercera fecha (25 mayo 2021) que corresponde al mes de mayo, indica que, en la región caribe, es normal que hubiesen aumentado significativamente los volúmenes de precipitación con respecto, producto del paso de ondas tropicales de este-temporada de mayo a noviembre. Para la cuarta fecha (20 de julio 2021) que corresponde al mes de julio, indica que hizo parte de la segunda temporada de menos lluvias en el oriente de la región caribe, en donde fue normal que se presentaran precipitaciones, debido al tránsito de ondas tropicales del este, la actividad ciclónica del mar caribe y la paulatina migración de la ZCIT al norte del país.

Si se realiza una comparación directa entre las fechas de afectación o de Disminución de la variabilidad climática y lo que fue el periodo de muestreo para la época de más lluvias, Entonces resulta imprescindible dar a conocer que los resultados bajos de caudales obtenidos para el primer y cuarto submuestreo (23 marzo 2021-20 de julio 2021) se deban a efectos colaterales persistentes del fenómeno de variabilidad climática sobre lo que son las fuentes hídricas superficiales. Es decir, las lluvias que se presentaron durante el periodo del 21 abril

2021-25 mayo 2021) fueron considerablemente más altas o parecidas respecto a las precipitaciones de la misma temporada en años anteriores según indicios empíricos expresados por la misma comunidad.

Si bien es cierto resulta importante dar a conocer como los niveles de caudales que fueron determinados durante los submuestreos en periodos de más lluvias se obtuvieron aforos de 0,174 – 0,284 y 0,002035 expresados en m^3/s para las estaciones 1, 2 y 3 (Punto Quebrada Cundina “Zona de Confluencia entre Q. San cayetano y Q.Cundina”, Punto Quebrada Cundina“(100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia” y el Punto Quebrada San Cayetano “(560) metros aguas arriba” respectivamente. Lo que significa que al compararlos con los periodos de menos lluvias se obtuvieron aforos de 0,126 – 0,159 y 0,001956 expresados en m^3/s para las mismas estaciones 1, 2 y 3 respectivamente; lo que nos indica una reducción entre los caudales de ambos periodos correspondientes a los valores de 0,048 – 0,125 - 0,000079 respectivamente entre las estaciones expresados en m^3/s , lo que pareciera no ser tan significativo desde un punto de vista numérico.

4.1.2. Caracterización Organoléptica del agua.

A los sentidos, los resultados obtenidos de la observación in situ son los siguientes:

Estación 1. presento un color aparente (transparente oscuro) un poco profundo, como resultado quizá del contacto con una gran variabilidad de lo que se conoce como detritus orgánico compuesto por hojas, madera en diversos estados de descomposición que tuvieron su respectiva presencia a lo largo de las márgenes que dan lugar a la quebrada cundina y también a sus tributarios (la quebrada san cayetano y la quebrada cundina). Cabe resaltar que es muy probable que el aporte de su color aparente oscuro comparada con el color natural de una fuente superficial se deba principalmente a la fuerte cantidad de vegetación presente a lo largo

de la extensa reserva forestal que presenta la microcuenca en todo su recorrido. Realizando una aproximación edafológica de la fuente superficial en esta parte de la quebrada presenta un esfero arenoso que facilita el intercambio rápido y el arrastre de sedimentos en suspensión. No fue detectada presencia alguna de olores que resultarán ofensivos en el recurso hídrico; sin embargo, no se descarta posibles factores de contaminación que se encuentren impregnados en este preciado recurso y que sabemos no son detectados fácilmente por los sentidos.

Estación 2. presento un color aparente muy similar a la de la estación 1, transparente oscuro mucho más profundo en periodos de lluvias, pero en periodos de menos lluvias no tan impregnado en el recurso hídrico tendiendo a mejorar drásticamente; esto como resultado de la disminución de la descomposición del material vegetal cuando los periodos torrenciales se acercaron y empezaron a disminuir; como lo fue el primer y cuarto submuestreo; aclarando además que la presencia de lluvias totalmente atípicas de los días anteriores a los submuestréos tuvieron lugar en los periodos de menos lluvias debido al (efecto de variabilidad climática del periodo). Sin embargo la diferencia fue notoria en el segundo y tercero submuestreo en donde el periodo de lluvias fue aún más fuerte para la fecha en la que fueron realizados; es decir que pudieron en teoría haber provocado una reoxigenación del flujo de agua y por consiguiente la activación directa de bacterias como lo son del género Coliformes; las cuales resultan útiles en el deterioro y descomposición de la materia orgánica en los múltiples procesos de carácter biológico presentes en la naturaleza, resaltando además que debido al comportamiento hidráulico del cuerpo de agua se encuentra una elevada pendiente y por lo tanto una gran cantidad rápidos durante su trayecto que hacen desaparecer los olores ofensivos presentes en la estación 3, debido a la existencia de bordes totalmente sobresalientes con vegetación macrófita que con la ayuda de la presencia de troncos leñosos propician un lugar idóneo acompañado de

alimento en sustrato para macroinvertebrados e inclusive algas de carácter bentónicos que inician la reactivación de un sin número de procesos biológico que dan lugar a la degradación-oxigenación convirtiendo la lámina de agua inolora, al mismo tiempo se puede decir que gracias a esta autodepuración lo que ocurre es que bioindican mejor la calidad del agua

Estación 3. presenta un color aparente amarillo derivado en teoría del contacto con el detritos orgánicos como lo son hojas y madera presentes en múltiples estados de descomposición que se encuentran inmersos en los márgenes de la sección de la fuente hídrica; añadiendo además que el color aparente de color amarillo oscuro se debe también a la presencia de diatomeas y algas cyanophyceae identificadas en diferentes sustratos a lo largo de la sección presente en el tributario (quebrada san cayetano) de la quebrada cundina; añadiendo que hubo presencia de una mayor concentración de sólidos en suspensión que definían el color aparente del agua, se observó también presencia de olores ofensivos; atribuyendo parte de su causa a todas las actividades encontradas en los márgenes de la quebrada san cayetano en donde se observan descargas considerables de aguas residuales domesticas (ARD) y vertimientos agrícolas durante el recorrido aguas arriba y aguas abajo de la presente estación. Añadiendo además que las características del cuerpo hidráulico del agua no están compuestas de rápidos o pendientes significativas en la parte alta (pero si después de la estación) y lo que es peor la vegetación de sus márgenes está haciendo talada. La tabla de resultados físico-químicos confirman un valor mayor de color real de (103 UPtCo) en la presente estación durante el periodo de más lluvias en comparación con los demás puntos monitoreados.

4.1.3. Reporte de Resultados Físico-Químicos.

4.1.3.1. Parámetros Físico-Químicos para los muestreos 1 y 2

Tabla 31
Parámetros Físico-Químicos evaluados

Submuestras		Muestreo en Temporada Menos Lluvias			Muestreo en Temporada Mas Lluvias		
		23-mar-21			21-abr-21		
Parámetro	Unidad	EST- 1	EST- 2	EST- 3	EST-1	EST- 2	EST- 3
Análisis in situ							
Caudal	m3/s	0.115	0.183	0.001815	0.181	0.299	0.001905
Temperatura del Ambiente	°C	17.2	17.3	18.2	17	17	18
Temperatura del agua	°C	11	11.2	11.5	10	10.1	10.3
Análisis de Laboratorio							
1. Análisis Físico-Químicos							
oxígeno Disuelto	mg/L O2	7.65	8.31	8.07	7.17	6.86	6.81
Alcalinidad	mg/L CaCO3	35	25	45	35	30	40
Cloro libre	mg/L Cl2	0.00	0.11	0.06	0	0.03	0.01
Color real	UPtCo	28	30	32	55	48	103
Conductividad	µS/cm	57.6	67.9	71.5	62.2	63.4	74.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O2 /L	27	29	20	32	23	42
Demanda Química de Oxígeno	mg O2 /L	118	136	117	190	101	203
Dureza total	mg/L CaCO3	27	25	24	20	23	25
Fluoruros	mg/L F-	0.07	0.13	0.25	0.17	0.28	0.23
Nitratos	mg/L N-NO3	0.0	0.0	0.4	0.88	5.28	5.28
Nitritos	mg/L N-NO2	0.0297	0.000	0.000	0.0132	0.0033	0.0066
Nitrógeno amoniacal	mg/L N-NH3	0.05	0.00	0.00	0.07	0.12	0.18
pH	pH	6.73	6.68	6.58	6.50	6.44	6.54
Sólidos totales	mg/L	53	71	17	28	50	71
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/L	0.6	1.4	1.7	0.6	3.4	5.1
Sulfatos	mg/L SO4	0	0	0	0	0	0
Turbiedad	NTU	1.13	3.06	40.6	1.63	1.18	8.01
Análisis Bacteriológicos							
Recuento Coliformes Totales	NMP/100 mL	75	150	34	289	256	300
Recuento E. coli	NMP/100 mL	43	93	15	98	84	287

Nota. La tabla muestra la relación en los resultados de concentración de parámetros fisicoquímicos y Bacteriológicos evaluados en tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (más lluvias y menos lluvias).

Fuente. Laboratorio de Aguas de la UFPSO, Adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 32
Estadísticos descriptivos de las variables físico-químicas

	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico
OD	1.5	6.81	8.31	7.47833	0.25789	0.39905
Temperatura del agua	1.1	11.2	12.3	11.7	0.16733	0.168
Alcalinidad	20	25	45	35	2.88675	50
Cloro libre	0.11	0	0.11	0.035	0.01765	0.00187
Color real	75	28	103	49.33333	11.60938	808.66666
Conductividad	16.9	57.6	74.5	66.18333	2.56689	39.53366
DBO	22	20	42	28.83333	3.15612	59.76666
DQO	102	101	203	144.16666	17.23836	1782.96666
Dureza total	7	20	27	24	0.96609	5.6
Fluoruros	0.21	0.07	0.28	0.18833	0.03249	0.00633
Nitratos	5.28	0	5.28	1.97333	1.05399	6.66538
Nitritos	0.0297	0	0.0297	0.0088	0.00464	0.00012
Nitrógeno amoniacal	0.18	0	0.18	0.07	0.02875	0.00496
pH	0.29	6.44	6.73	6.57833	0.04475	0.01201
Solidos totales	54	17	71	48.33333	9.03204	489.46666
Sulfatos	0	0	0	0	0	0
Turbiedad	39.47	1.13	40.6	9.26833	6.35556	242.35957

Nota: La tabla muestra los estadísticos descriptivos para las variables físicoquímicas de las estaciones de muestreo

Fuente. Información adaptada de los parámetros valorados por el Laboratorio de Aguas de la UFPSO
 Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

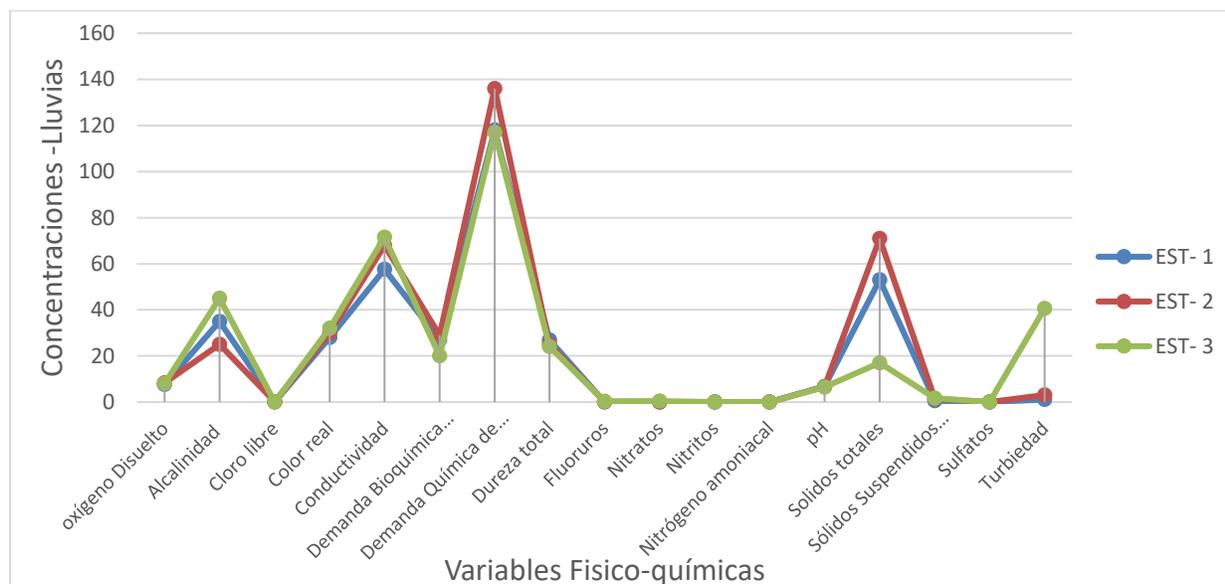


Figura 16. Comportamiento de las variables físico-químicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Menos lluvia

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

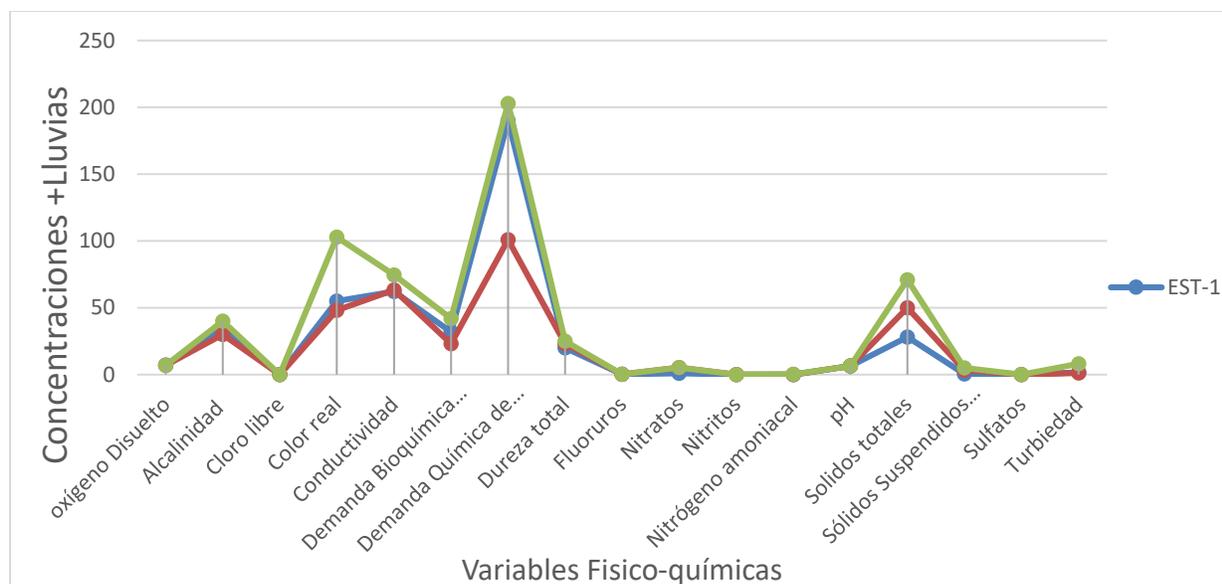


Figura 17. Comportamiento de las variables físico-químicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de más lluvia.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

4.1.3.2. Parámetros Físico-Químicos para los muestreos 3 y 4

Tabla 33

Parámetros Físico-Químicos evaluados

Submuestreos	Unidad	Muestreo en Temporada Mas Lluvias			Muestreo en Temporada Menos Lluvias		
		EST- 1	EST- 2	EST- 3	EST-1	EST- 2	EST- 3
		25-may-21					
		20-jul-21					
Parámetro	Unidad	EST- 1	EST- 2	EST- 3	EST-1	EST- 2	EST- 3
Análisis in situ							
Caudal	m ³ /s	1,009	–	1,08	0,555	–	0,99
Temperatura del Ambiente	°C	17	–	18	17,3	–	18,2
Temperatura del agua	°C	10	–	10,1	10,2	–	10,3
Análisis de Laboratorio							
1. Análisis Físico-Químicos							
oxígeno Disuelto	mg/L	8,35	–	7,7	7,6	–	6,3
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	23,4	–	35,5	22,0	–	29,4
Cloruros	mg Cl-/L	1,89	–	3,38	2,21	–	2,82
Conductividad	µS/cm	59,4	–	71,1	63,3	–	74,4
DBO5	mg O ₂ /L	2,10	–	2,20	<5,00 (2,40)	–	<5,00 (2,52)
DQO	mg O ₂ /L	<20,0 (1,90)	–	<20,0 (10,1)	<20,0 (6,99)	–	<20,0 (1,22)
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	18,0	–	20,0	19,3	–	23,4
Fluoruros	mg F-/L	<0,100 (0,1)	–	<0,100 (0,1)	<0,100 (0,1)	–	<0,100 (0,1)
Fosforo Total	mg P/L	<0,150 (0,0280)	–	<0,150 (0,00)	<0,150 (0,0110)	–	<0,150 (0,00)
Nitratos	mg NO ₃ -N/L	0,860	–	<0,0680 (0,0650)	0,291	–	<0,0680 (0,0230)

Nitritos	mg NO ₂ -N/L	<0,0910 (0,00)	-	<0,0910 (0,00)	<0,0910 (0,0110)	-	<0,0910 (0,0110)
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH ₃ /L	<5,00 (0,25)	-	<5,00 (0)	<5,00 (0,210)	-	<5,00 (0,00)
Nitrógeno Kjeldahl	mg N/L	<5,00 (2,27)	-	<5,00 (2,66)	<5,00 (4,12)	-	<5,00 (2,30)
pH y Temperatura	Unidades de pH / °C	6,78 / 20,6	-	6,55 / 21,0	6,71 / 20,9	-	6,68 / 20,9
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	8,19	-	7,84	8,22	-	7,58
Sólidos Suspendidos Totales	mg SST/L	<10,0 (0,7)	-	<10,0 (5,7)	<10,0 (0,700)	-	<10,0 (1,90)
Sólidos Totales	mg ST/L	61,1	-	68,6	64,0	-	68,1
Sólidos Disueltos	mg SD/L	60,3	-	63,3	63,3	-	66,2
Turbiedad	UNT	2,10	-	28,1	1,87	-	8,31
2. Análisis Bacteriológicos							
Recuento Coliformes Totales	NMP/100 mL	1400	-	680	20,0	-	4700
Recuento E. coli	NMP/100 mL	450	-	<1,80 (1,50)	<1,80 (1,41)	-	200

Nota. La tabla muestra la relación en los resultados de concentración de parámetros fisicoquímicos y Bacteriológicos evaluados en dos (2) de los tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (más lluvias y menos lluvias); En la gráfica anterior no se cuenta con los valores físico-químicos de la estación 2 debido a que no fue posible su análisis por falta de recursos económicos para el presente trabajo de investigación. Se relaciona el límite de detección reportado (log out ISO 17025) por el laboratorio acreditado contratado. (-) Significa que el dato no fue tomado ni evaluado.

Fuente. Laboratorio de Estudios Ambientales (acreditado por el IDEAM, según resolución No. 1468 de 2019) Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

De la tabla anterior con los resultados o datos crudos es necesario ampliar algunos flecos de información antes de entrar al capítulo de discusión.

Los parámetros bacteriológicos están reportados con dos técnicas diferentes. Test de SustratoEnzimático recomendado por el IDEAM, (2007), Utilizado por el laboratorio contratado (ver Método de análisis de parámetros fisicoquímicos y Bacteriológicos) y la Técnica de tubos múltiples o de fermentación recomendado por el Instituto Nacional de Salud (2011), utilizado por el laboratorio Institucional de la UFPSO.

Tabla 34
Estadísticos descriptivos de las variables físico-químicas

	Rango	Mínimo	Máximo	Media		Desviación estándar	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error estándar	Estadístico	Estadístico
Oxígeno Disuelto	8.35	6.3	8.35	4.99167	1.60169	3.92332	15.39242
Temperatura del agua	12.9	11.5	12.9	8.15	2.58518	6.33238	40.099
Alcalinidad	13.5	22	35.5	27.575	3.09094	6.18189	38.21583
Cloruros	1.49	1.89	3.38	2.575	0.33046	0.66093	0.43683
Coliformes Totales	4680	20.0	4700	1700	1038.94176	2077.8835	4317600
Escherichia coli	448.2	1.8	450	163.4	106.34387	212.68775	45236.08
Conductividad	15	59.4	74.4	67.05	3.45217	6.90434	47.67
DBO5	0.42	2.10	2.52	2.305	0.095	0.19	0.0361
DQO	8.88	1.22	10.1	5.0525	2.11851	4.23703	17.95249
Dureza Total	5.4	18.0	23.4	20.175	1.15208	2.30416	5.30916
Fluoruros	0	0.100	0.100	0.1	0	0	0
Fosforo Total	0.028	0	0.028	0.00975	0.0066128	0.0132256	0.0001749
Nitratos	0.837	0.023	0.86	0.30975	0.19262545	0.3852508	0.1484182
Nitritos	0.011	0	0.011	0.0055	0.00317543	0.0063508	0.00004
Nitrógeno Amoniacal	0.25	0	0.25	0.115	0.06689544	0.1337908	0.0179
Nitrógeno Kjeldahl	1.85	2.27	4.12	2.8375	0.43658476	0.8731695	0.762425
pH	0,23	6,55	6,78	6,68	0,04813	0,09626	0,00926
Oxígeno Disuelto Sólidos	0.64	7.58	8.22	7.9575	0.15255	0.30510	0.09309
Suspendidos Totales	5	0.7	5.7	2.25	1.18427193	2.3685438	5.61
Sólidos Totales	7.5	61.1	68.6	65.45	1.77881	3.55762	12.65666
Sólidos Disuelto	5.9	60.3	66.2	63.275	1.20441	2.40883	5.8025
Turbiedad	26.23	1.87	28.1	10.095	6.18423	12.36846	152.97896

Nota: La tabla muestra los estadísticos descriptivos para las variables físicoquímicas de las estaciones de muestreo.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021..Información adaptada de los parámetros valorados por el Laboratorio de Estudios Ambientales (acreditado por el IDEAM, según resolución No. 1468 de 2019) Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga.

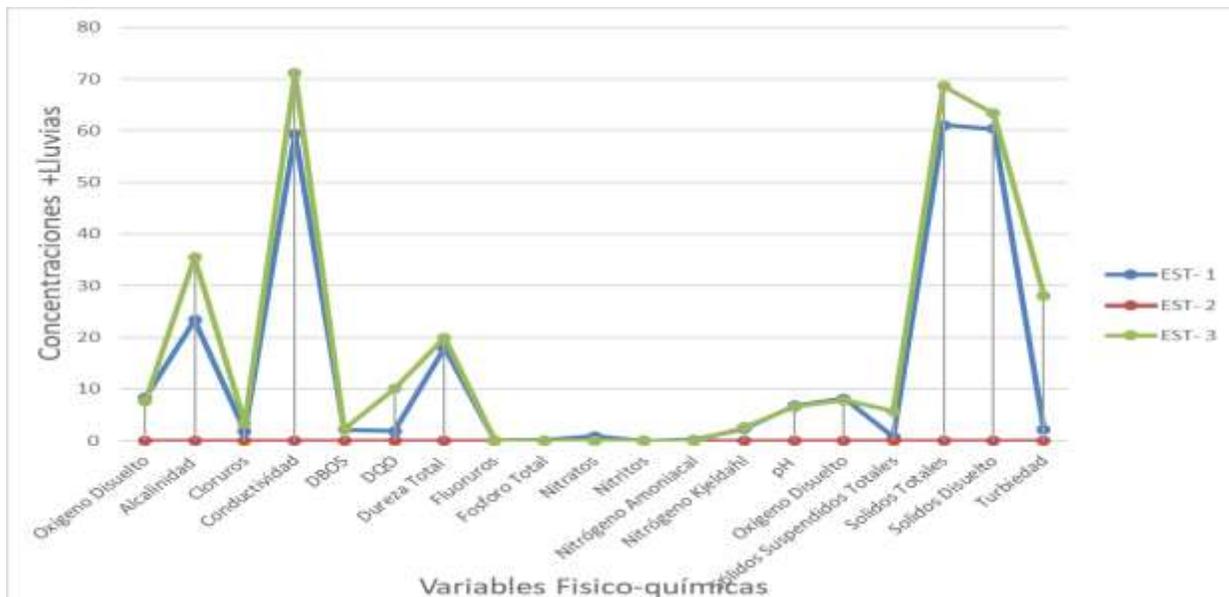


Figura 18. Comportamiento de las variables físico-químicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Mas lluvia.

Nota. En la gráfica anterior no se cuenta con los valores físico-químicos de la estación 2 debido a que no fue posible su análisis por falta de recursos económicos para el presente trabajo de investigación.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

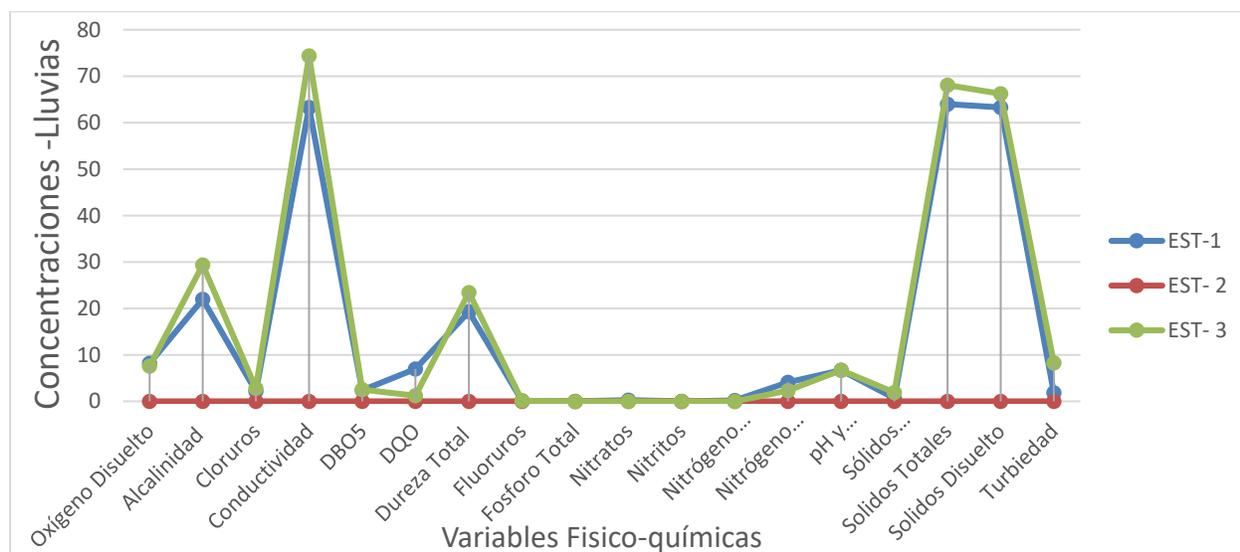


Figura 19. Comportamiento de las variables físico-químicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de menos lluvia.

Nota. En la gráfica anterior no se cuenta con los valores físico-químicos de la estación 2 debido a que no fue posible su análisis por falta de recursos económicos para el presente trabajo de investigación.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Con base en la información estadística observada en la tabla 32 y el comportamiento

general de las variables físico-químicas obtenidas en el laboratorio de la UFPSO a lo largo de las tres (3) estaciones monitoreadas en los periodos de más y menos lluvias, se observa que La temperatura del agua varió entre 10 °C y 11,5 °C, registrándose el valor máximo en la E3, durante el muestreo de menos lluvias. Por otra parte, el pH presentó poca variabilidad de acuerdo a la varianza con un valor de 0,012; teniendo en cuenta que se registrarón los valores mínimos en el muestreo de más lluvias en la E2 y los valores máximos en el muestreo de Menos lluvias en la E1; Con resultados que oscilaron entre 6,4 y 6,73 respectivamente .Con base en la literatura técnica, tenemos que aun en temporada de menos lluvias, donde se espera mayor incidencia del proceso de ionización en el agua; se encontró que los puntos evaluados no presentan basicidad debido quizás a la falta por contaminación por mineralización en el agua; lo que ocasiona en teoría que debido a la presencia de algunos fertilizantes que sabemos son utilizados en las actividades agrícolas como lo es la fertirrigación (MAP, MKP, ácido fosfórico, ácido nítrico y sulfato amónico) tiendan a acidificar el agua de riego en las fuentes hídricas y debido también al contenido significativo de ácido carbónico que se forma cuando el dióxido de carbono del aire se disuelve en el agua que cae en los periodos de lluvia como lo es el caso de la que fuente hídrica de estudio.

Por otro lado, la conductividad presentó los valores más altos 560 $\mu\text{S/cm}$ aguas arriba de la zona de confluencia en la E3 con 74,5 $\mu\text{S/cm}$ y los valores más bajos en la zona de confluencia en la E1 con 57,6 $\mu\text{S/cm}$. Esto según Cantera Kindz, et al, (2009) se consideran valores propios de fuentes hídricas de montañas.

Los sólidos suspendidos totales fue uno de los parámetros que presentó menor variabilidad entre estaciones con valores comprendidos entre 0,6 mg SST/L- 5,1 mg SST/L registrados en la (E1 Y E3) durante el periodo de menos y más lluvias respectivamente. Dicho

comportamiento en general, se consideran normales de acuerdo con la ubicación altitudinal de las estaciones citadas anteriormente y lo que es aún más importante es que con valores de $SST \leq 25$ se cuenta con una calidad de agua excelente (clase de excepción, muy buena calidad) según (Semarnat, 2009) al citar a la Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, 1a edición, CNA, México, 2007 ; teniendo en cuenta que se encuentran ubicados en la parte media baja de la microcuenca abastecedora quebrada cundina, donde se encontraron valores pico de sólidos totales debido al arrastre y acumulación de sedimentos que se presentan durante los periodos torrenciales.

Para la dureza total, el valor máximo fue 27 mg $CaCO_3/L$ en la estación Punto Quebrada Cundina “Zona de Confluencia entre Q. San Cayetano y Q. Cundina (E1) durante el periodo de menos lluvias y el valor mínimo de 20 mg $CaCO_3/L$ en la estación (E1) durante el periodo de más lluvias. De esta manera la dureza en las aguas de la presente fuente hídrica se clasifican según Sierra Ramírez, C. A.,(2011).p.65 como aguas blandas (0-75 mg $CaCO_3/L$) ideales para propósitos sanitarios. Sin embargo, en términos biológicos según Miranda Sanguino, R. A., Ramírez Martínez, R. D., Hernández López, K., & Angarita Castilla, W. (2019) al citar a Cantera Kindz, et al (2009) afirma que “un resultado de dureza hasta 25 mg $CaCO_3/L$ es típico de aguas medianamente productivas”. Lo cual indica que este argumento no se aplica únicamente al resultado de dureza obtenida para (E1) en vista de que su reporte corresponde a un valor máximo durante un periodo de menos lluvias en donde se conoce existe menor dilución de iones carbonaceos y por lo tanto menor arrastre de indicios productivos agrícolas hacia el agua. Adicionalmente, los resultados obtenidos no varían significativamente en los submuestreos de más lluvias y menos lluvias (20-27 mg $CaCO_3/L$), con una media aritmética de 24 mg $CaCO_3/L$ que ubica el comportamiento de dureza dentro

del rango de clasificación otorgada para las aguas poco productivas (<75 mg CaCO_3/L) en términos de biomasa según (POMCA del río anamichú-Tolima, 2009, pág. 186).

Para el oxígeno disuelto los valores promedios oscilaron entre 6,81 mg/L en el punto E3, durante el periodo de más lluvias y 8,31 mg/L en el Punto E2 durante el periodo de menos lluvias. Estos valores demuestran que presentaron poca variabilidad entre los submuestreos en periodos de más y menos lluvias con una media aritmética entre las estaciones evaluadas de 7,48 mg/L que dejan bajo manifiesto encontrarse entre los valores normales que según el (POMCA del río anamichú-Tolima, 2009, pág. 186) varían entre los (7.0 y 8.0 mg/L); siendo este valioso resultado una indicio de una óptima calidad frente a la buena capacidad de reoxigenación que presenta la fuente hídrica de estudio. En todos los casos anteriores, los valores de este parámetro se consideran normales para cualquier uso (Consumo humano y doméstico, Preservación de flora y fauna, Agrícola, Pecuario, Recreativo, Industrial, Transporte.) según el decreto 1594/84.

Un caso similar a este comportamiento del oxígeno disuelto obtenido en nuestra investigación fue descrito por Miranda Sanguino, R. A., Ramírez Martínez, R. D., Hernández López, K., & Angarita Castilla, W. (2019) al citar a Cantera Kindz, et al (2009) en el río algodonal, la cual a diferencia de descargas domésticas y agrícolas recibe un mayor número de aportes de aguas residuales de diferentes tipos de actividades; Estos autores consideran que los niveles altos de oxígeno disuelto en la parte baja del río algodonal comprendidos dentro de su área de estudio son inducidos por la geomorfología del cauce y la gran cantidad de rápidos durante su recorrido, hechos que inducen hacia un incremento significativo del oxígeno disuelto aguas abajo de la corriente de estudio.

Las variables de DBO y DQO presentaron variaciones importantes entre los periodos de

muestreo evaluados. Los valores más altos registrados de manera conjunta para estos dos parámetros fueron en el punto E3, con valores de 42 mg O₂/L y 203 mg O₂/L respectivamente durante la temporada de más lluvias; mientras que las estaciones con los menores valores fueron el reporte de la (E3) en periodo de menos lluvias y la estación (E2) en periodo de más lluvias con valores respectivos de 20 mg O₂/L y 101 mg O₂/L. Para el parámetro DQO durante la temporada de menos y más lluvias los valores reportados subieron considerablemente al compararlos con los valores registrados por el parámetro de la DBO. Estos resultados demuestran que la quebrada cundina junto con sus tributarios a lo largo de su recorrido con el parámetro DBO en las estaciones (E1),(E2) y la (E3) durante el periodo de menos lluvia y la (E2) durante el periodo de más lluvia se encuentran con un criterio de $6 < DBO \leq 30$; es decir: presentan una calidad aceptable (Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente) según (Semarnat, 2009) al citar a la Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, mientras que las estaciones (E1) y (E3) durante el periodo de más lluvias se encuentran bajo un criterio de $30 < DBO \leq 120$; es decir: presentan una calidad contaminada (aguas superficiales con descargas de aguas residuales cruda, principalmente de origen veredal) según (Semarnat, 2009) al citar a la Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, 1a edición, CNA, México, 2007. Para el caso del parámetro DQO a lo largo de las estaciones (E1),(E2) y la (E3) durante el periodo de menos lluvia y la (E1) y (E2) durante el periodo de más lluvia se encuentran con un criterio de $40 < DQO \leq 200$; es decir: presentan una calidad contaminada (Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal), mientras que las estación (E3) durante el periodo de más lluvias se encuentra bajo un criterio de $DQO > 200$; es decir: presentan una calidad

fuertemente contaminada (aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales) según (Semarnat, 2009) al citar a la Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, 1a edición, CNA, México, 2007.

A nivel general, al observar los parámetros evaluados en los cuatro (4) muestreos durante los periodos de (menos y más lluvias) se encontró que sin necesidad de tratar el agua cruda de la microcuenca abastecedora quebrada cundina; las variables (Alcalinidad, dureza total, conductividad, nitratos , nitritos, cloruros, sulfatos y solidos totales) están cumpliendo y las variables (Turbiedad, pH, Coliformes Totales, E. coli) no están cumpliendo con los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo II de la Resolución 2115 de 2007 (características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano) según se puede evidenciar en la tabla 35.

Tabla 35

Criterios que no cumplieron según la normativa de la Resolución 2115/2007

Parámetros	Resolución 2115/2007	Norma exigida por Ministerio de la Protección Social				
		UFPSO		UPB		
		Periodo	Estación	Resolución 2115/2007	Periodo	Estación
Turbiedad (NTU)	X	.- LI	E2	X	+. LI	E1
		(.+, - LI)	E3		(.+, - LI)	E3
pH	X	+. LI	E2	✓		
Análisis Bacteriológicos						
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	X	(.+, - LI)	E1	X	(.+, - LI)	E1
			E2			E2
			E3			E3
E. coli (NMP/100 mL)	X	(.+, - LI)	E1	X	(.+, - LI)	E1
			E2			E2
			E3			E3

Nota. La tabla muestra la relación de los criterios que no cumplieron según la normativa de la Resolución 2115/2007-características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano; evidenciándose la concentración de parámetros fisicoquímicos y Bacteriológicos evaluados en tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (más lluvias y menos lluvias). Se relaciona el límite de detección reportado (log out ISO 17025) por el laboratorio acreditado contratado. X. No cumple con el criterio ✓. Si cumple con el criterio.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. de información adaptada de la (Resolución 2115 de 2007-características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del

agua para consumo humano, 2007).

Por otra parte la gran mayoría de los parámetros evaluados en los muestreos durante los periodos de menos y más lluvias estuvieron por debajo de los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo IV del decreto 1594/84 (criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico) ; esto debido a que los cuatro (4) muestreos evaluados según la tabla 31 representan los parámetros que fueron determinados en el laboratorio ambiental de la UFPSO en las fechas (23-Mar-2021 y 23-Abr-2021); las cuales tienden a ser más preocupantes para la normativa del decreto 1594 de 1984 que los parámetros evaluados en el laboratorio de la universidad pontificia bolivariana en las fechas (25-May-2021 y 20-Jul-2021); quizás esto debido a un error en el cálculo del valor de los respectivos parámetros en la evaluación de las muestras o debido quizás a que la ausencia de lluvias apenas estaba empezando a disminuir. Además, existen parámetros que según las normativas internacionales establecidas por la OMS -Organización Mundial de la Salud-, (2008) en la tercera edición de las guías para la calidad del agua potable no son aceptables debido a que sobre pasan los valores máximos permisibles según el análisis efectuado en la tabla 36.

Tabla 36

Criterios de consumo humano que no cumplieron según la normativa del decreto 1594 de 1984
Norma Nacional Decretos 1594/84- Guidelines for Drinking Water Quality OMS (1996)2

Parámetros	UFPSO						UPB					
	Decretos 1594/84	Periodo	Estación	OMS (1996)2	Periodo	Estación	Decretos 1594/84	Periodo	Estación	OMS (1996)2	Periodo	Estación
DBO	x	.+Ll .- Ll		NR			✓			NR		
DQO	x			NR			✓			NR		
Ph	✓			x	.+ Ll	E2	✓			✓		
Turbiedad	x	.- Ll	E3	x	.+ Ll .- Ll	E3 E3	x	.+ Ll	E3	x	.+ Ll .- Ll	E3 E3
				Análisis Bacteriológicos								
Recuento E. coli	✓			X	(.+ , - Ll)	E1 E2 E3	✓			X	(.+ , - Ll)	E1 E2 E3

Nota. La tabla muestra la relación de los criterios que cumplieron según la normativa del decreto 1594 de

1984 de criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico para un muestreo determinado; evidenciándose la concentración de parámetros fisicoquímicos y Bacteriológicos evaluados en tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (más lluvias y menos lluvias). Se relaciona el límite de detección reportado (log out ISO 17025) por el laboratorio acreditado contratado. L1. Lluvias X. No cumple con el criterio ✓. Si cumple con el criterio NR. No reporta directriz de calidad o bien porque no se admite la presencia del contaminante en el agua o porque en las concentraciones normalmente encontradas, no se ha detectado daño en la salud.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. de Información adaptada conforme a los criterios de la Norma Nacional Decretos 1594/84 y de la Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd edition Vol.3, Organización Mundial de la Salud, (1997). Geneva, Ginebra Suiza. Según la información entregada por el Laboratorio de Estudios Ambientales (acreditado por el IDEAM, según resolución No. 1468 de 2019) Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga y y el Laboratorio de Aguas de la UFPSO.

Por otro lado, se encontró que los parámetros existentes evaluados durante los periodos de menos y más lluvias estuvieron por debajo de los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo IV del decreto 1594/84 (para criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola, para uso pecuario y para fines recreativos mediante contacto secundario).

Nota: El tipo de calidad de agua encontrada si es factible para para consumo humano y doméstico lo que indica que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional, pero no es factible para fines recreativos de contacto primario de acuerdo al análisis de criterio que se evidencia en la tabla 37.

Tabla 37

Criterios de contacto primario que no cumplieron según la normativa del decreto 1594 de 1984

Parámetros	Norma Nacional Decretos 1594/84				UPB	
	Decretos 1594/84	Periodo	Estación	Decretos 1594/84	Periodo	Estación
OD	X	.+ Lluvias .+ Lluvias	E2 E3	✓		
		Análisis Bacteriológicos				
Recuento Coliformes Totales	✓			X	.+ Lluvias .- Lluvias	E1 E3
Recuento E. coli	X	.+ Lluvias	E3	X	.+ Lluvias	E1

Nota. La tabla muestra la relación de los criterios que no cumplieron según la normativa del decreto 1594 de 1984 de criterios de calidad admisibles para fines recreativos de contacto primario para un muestreo determinado; evidenciándose la concentración de parámetros fisicoquímicos y Bacteriológicos evaluados en tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales

(más lluvias y menos lluvias). Se relaciona el límite de detección reportado (log out ISO 17025) por el laboratorio acreditado contratado. X. No cumple con el criterio ✓. Si cumple con el criterio Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021. de Información adaptada conforme a los criterios de la Norma Nacional Decretos 1594/84. Según la información entregada por el Laboratorio de Estudios Ambientales (acreditado por el IDEAM, según resolución No. 1468 de 2019) Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga y el Laboratorio de Aguas de la UFPSO.

El comportamiento de las variables entre las estaciones y periodos de muestreos es similar al observado para otras fuentes hídricas de Colombia con alturas y condiciones similares como es el caso del estudio desarrollado por Miranda Sanguino, R. A., Ramírez Martínez, R. D., Hernández López, K., & Angarita Castilla, W. (2019) quienes lograron determinar interrelaciones y posibles sesgos entre los componentes del caudal que hacen parte del área de estudio correspondiente al río algodonal.

Contrarios a estos resultados son los publicados por la Organización Promotora Medio Ambiental, quienes en el (2008), monitorearon la cantidad y calidad del agua en once (11) tramos del río algodonal obteniendo reportes de Oxígeno disuelto, DBO5, Sólidos Suspendidos totales, Nitritos, nitratos por encima de los valores máximos permisibles. Esto significa que la calidad actual de la microcuenca abastecedora quebrada cundina que sabemos hace parte de la fuente hídrica del río algodonal y que sabemos fue categorizada y priorizada por el IDEAM en el 2004 por su valor ambiental e importancia ecosistémica bajo el código (1605) según el IDEAM, 2004 empieza según el análisis realizado durante los meses de marzo, abril, mayo y julio del año 2021 a ser motivo clave de preocupación conforme avanza el tiempo. Teniendo en cuenta además que el Motivo de preocupación es compartido y se hace aún más notorio cuando al compararlo con la normativa internacional como lo dicta (Semarnat, 2009) al citar a la Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, 1a edición, CNA, México, 2007.; nos damos cuenta que nos arroja como resultado de análisis a una fuente hídrica con condiciones de calidad preocupantes para los parámetros físico-

químicos (DBO y DQO) evaluados en el laboratorio ambiental de la UFPSO en las fechas (23-Mar-2021 y 23-Abr-2021).

4.1.4. Resultados de Análisis Microbiológicos.

4.1.4.1. Parámetros Microbiológicos para los muestreos 1 y 2

Tabla 38

Resumen estadístico descriptivo de variables microbiológicas

			Estadístico	Error estándar
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Media		184,000	46,620
		Límite inferior	92,627	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	4502,246	
	Mediana		203,000	
	Varianza		13040,400	
	Desviación estándar		114,195	
	Mínimo		34,000	
	Máximo		300,000	
	Asimetría		-0,326	0,687
	Curtosis		-2,223	1,334
			Estadístico	Error estándar
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Media		103,333	39,024
		Límite inferior	26,848	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	179,818	
	Mediana		88,500	
	Varianza		9137,067	
	Desviación estándar		95,588	
	Mínimo		15,000	
	Máximo		287,000	
	Asimetría		1,813	0,687
	Curtosis		3,914	1,334

Nota. La tabla con los estadísticos descriptivos de las variables coliformes fecales y E.coli relaciona la dispersión y simetría de distribución de los datos con un 95% de nivel de confianza.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

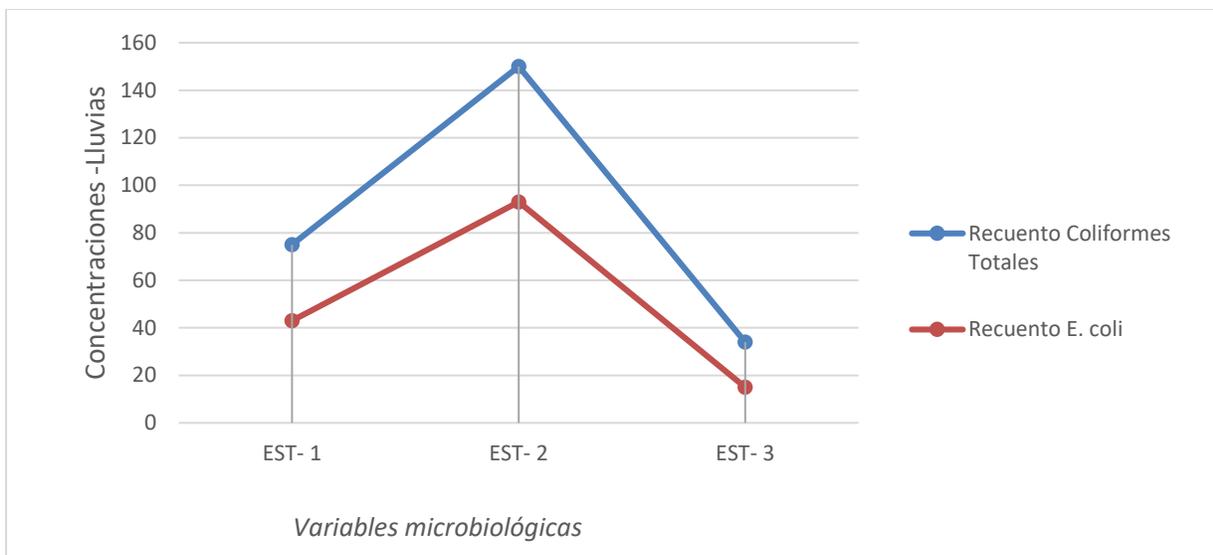


Figura 20. Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Menos lluvia.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

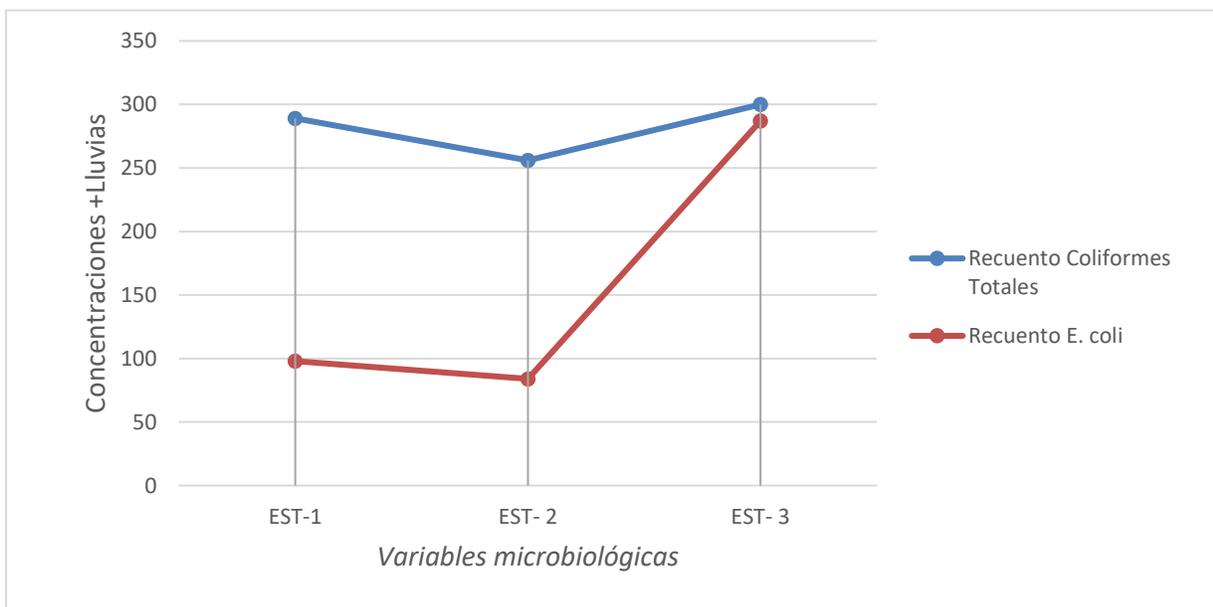


Figura 21. Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Mas lluvia.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

4.1.4.2. Parámetros Microbiológicos para los muestreos 3 y 4

Tabla 39

Resumen estadístico descriptivo de variables microbiológicas

			Estadístico	Error estándar
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	Media		1700	1038,942
		Límite inferior	-336,288	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	-347684,117	
	Mediana		1040,000	
	Varianza		4317600,000	
	Desviación estándar		2077,884	
	Mínimo		20,000	
	Máximo		4700,000	
	Asimetría		1,573	0,687
	Curtosis		2,603	1,334
Escherichia coli (NMP/100 mL)	Media		163,228	106,431
		Límite inferior	-45,374	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	371,829	
	Mediana		100,750	
	Varianza		45310,457	
	Desviación estándar		212,863	
	Mínimo		1,410	
	Máximo		450,000	
	Asimetría		1,048	0,687
	Curtosis		-0,292	1,334

Nota. La tabla con los estadísticos descriptivos de las variables coliformes fecales y E.coli relaciona la dispersión y simetría de distribución de los datos con un 95% de nivel de confianza.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

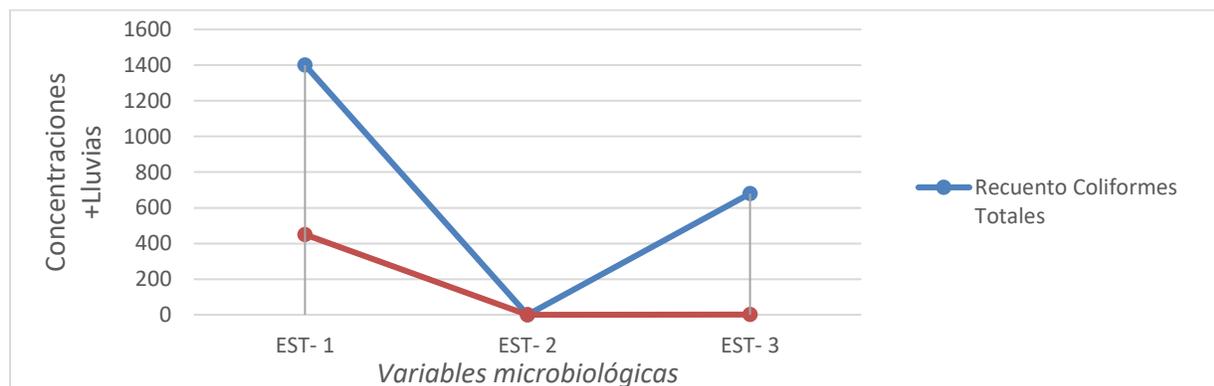


Figura 22. Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Mas lluvia

Nota. En la gráfica anterior no se cuenta con los valores microbiológicos de la estación 2 debido a que no fue posible su análisis por falta de recursos económicos para el presente trabajo de investigación.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

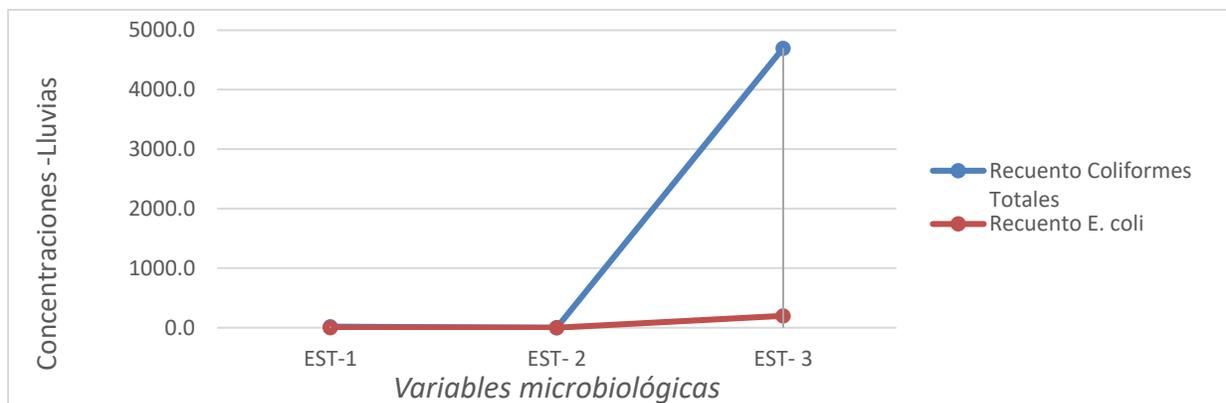


Figura 23. Comportamiento de las variables microbiológicas evaluadas en las tres estaciones para temporada de Menos lluvia

Nota. En la gráfica anterior no se cuenta con los valores microbiológicos de la estación 2 debido a que no fue posible su análisis por falta de recursos económicos para el presente trabajo de investigación.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

La grafica del comportamiento de las variables microbiológicas para los coliformes totales valorados por el laboratorio de la UFPSO (figura 24), (figura 25) y el laboratorio de la UPB (figura 26), (figura 27) registran que el valor máximo con un 95 % de confianza se encontró en los Puntos Quebrada cundina (100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia (E2) y Quebrada San Cayetano (560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia (E3) con un valor de (256 y 4700) NMP/100 respectivamente. Adicionalmente, la gráfica manifiesta valores atípicos en el Punto Quebrada San Cayetano (560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia (E3) con un valor de (300 y 4700) NMP/100 respectivamente en ambos laboratorios ambientales. Conforme a la información de coliformes totales obtenida durante los muestreos analizados por ambos laboratorios se tiene que estos valores empezaron a aumentar progresivamente conforme avanzaban los números de muestreos es decir: el tiempo y con ellos los periodos de menos y más lluvias; este comportamiento logro evidenciarse en las tres estaciones sin embargo el resultado de concentración evaluada se manifestó siempre en la estación tres (E3); esto debido a que la gran mayoría de los viviendas de la vereda san

cayetano se encuentran asentadas en la parte alta del territorio que comprende a la presente estación y por ello es probable que estos valores se deban a que conforme fuerón avanzando fuerón también provocando crecidas súbita del caudal de la quebrada en este punto, traducido en mayor concentración de material en suspensión y material de arrastre del fondo y márgenes de la quebrada san cayetano con presencia residuos resultantes de actividades humanas como lo son los residuos domésticos, residuos principalmente de materia orgánica y grasas provenientes de pozos sépticos, residuos de actividades agrícolas, agropecuarias que en consecuencia pueden aumentar con los periodos torrenciales y por ello es necesario llevar a cabo condiciones rigurosas de desinfección o disminución con posibles alternativas en las malas prácticas mediante un apoyo técnico de carácter ambiental.

La grafica del comportamiento de las variables microbiológicas para la *E. coli* evaluada por el laboratorio de la UFPSO (figura 24), (figura 25) y el laboratorio de la UPB (figura 26), (figura 2) registran que el valor máximo con un 95 % de confianza se encontrarón en los Puntos Quebrada San Cayetano (560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia (E3) y Quebrada Cundina Zona de Confluencia (E1) con los valores de (287 y 4700) NMP/100 respectivamente. Adicionalmente, la gráfica manifiesta valores atípicos en los Puntos Quebrada San Cayetano (560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia (E3) y Quebrada Cundina Zona de Confluencia (E1) con los valores de (287 y 450) NMP/100 respectivamente en ambos laboratorios ambientales. En términos de calidad y teniendo en cuenta que nos faltó por evaluar la estación (E2), la concentración promedio de *E. coli* entre las estaciones siempre tendió a ser representativa conforme avanzaban los muestreos a lo largo del tiempo por lo que se evidencia una contaminación significativa por carga orgánica en el trayecto de la estación (E3) hacia la estación (E1) por lo que se suponen condiciones rigurosas de desinfección. Sin

embargo, si se prevé que dicho comportamiento de los valores obtenidos por el laboratorio en los dos últimos muestreos estuvo precedido por una bajada súbita del presente parámetro que pudo estar influenciado en un error en su recolección o determinación en el laboratorio de la UPB.

Los resultados obtenidos en el recuento de coliformes totales y *E.coli* durante los cuatro (4) muestreos presentan una mejora significativa en comparación con el reporte publicado por la Asociación Promotora Medioambiental (2008), quienes determinaron que el NMP/100 mL de *E. coli* monitoreado en once (11) estaciones sobre el río algodonal durante tres (3) muestreos sobrepasaron los límites permisibles en las estaciones: Aguas arriba y aguas abajo de la laguna de estabilización de Abrego, Punto san Luis (E2, E3, E4) respectivamente. Sin embargo, el comportamiento evidenciado (revisar apéndice N) a lo largo de las tres (3) estaciones por estos dos parámetros microbiológicos representan una situación preocupante en el recurso hídrico utilizado para consumo humano por el municipio de González -cesar.

En general estos registros indican que los resultados de recuentos de coliformes totales y *E.coli* realizados en las tres (3) unidades de análisis están dentro de los límites legales permisibles referidos en el artículo 38 del Decreto 1594/84 (Los criterios de calidad del agua cruda para abastecimiento están incluidos en el presente decreto o el que lo modifique) sobre la destinación del recurso para consumo humano y doméstico e indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional (acueducto); Así como también se encuentran dentro de los límites los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola, para uso pecuario y para fines recreativos mediante contacto secundario. Es decir, que la fuente de agua de la quebrada cundina en ambos periodos de muestreo es segura para la potabilización, mas no lo es para un proceso basado solamente en desinfección.

4.2. Determinación de los Índices de calidad del agua

4.2.1. Parámetros valorados para los muestreos 1 y 2

Tabla 40

Determinación del ICA

PARAMETRO (UNIDAD)	CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA											
	EST- 1		Val. Total	IC A	EST- 2		Val. Total	IC A	EST- 3		Val. Total	IC A
	23/03/2021.(-LI)	21/04/2021 ,(+LI)	̄		23/03/2021.(-LI)	21/04/2021 ,(+LI)	̄		23/03/2021.(-LI)	21/04/2021 ,(+LI)	̄	
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0,700	0,630	0,665	Regular	0,760	0,610	0,685	Regular	0,740	0,610	0,675	Regular
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	1,000	1,000	1,000		1,000	1,000	1,000		1,000	1,005	1,002	
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	0,125	0,125	0,125		0,125	0,125	0,125		0,125	0,125	0,125	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	0,874	0,861	0,868		0,843	0,857	0,850		0,833	0,823	0,828	
pH (Unidades de pH)	0,870	0,772	0,821		0,941	0,748	0,845		0,805	0,788	0,797	
PONDERACI ÓN: 0,2	Valor del ICA		0,696		Valor del ICA		0,701		Valor del ICA		0,685	

Nota: La tabla muestra la calificación de la calidad del agua en los tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (menos lluvias y más lluvias) en donde se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador que para el caso se emplearán 5 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo. Información tomada de los parámetros valorados y suministrados por el Laboratorio de la UFPSO.

Fuente. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011) Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 41

Calificación de la calidad del agua según el IDEAM, 2011

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	azul

Fuente: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011) Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

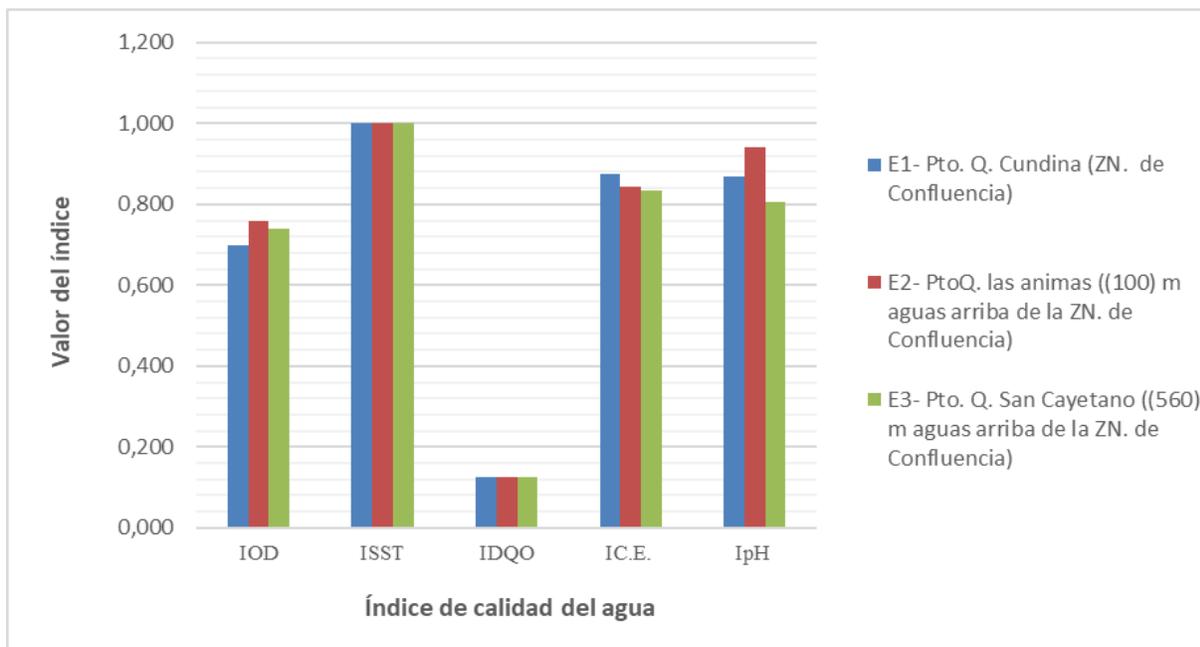


Figura 24. Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

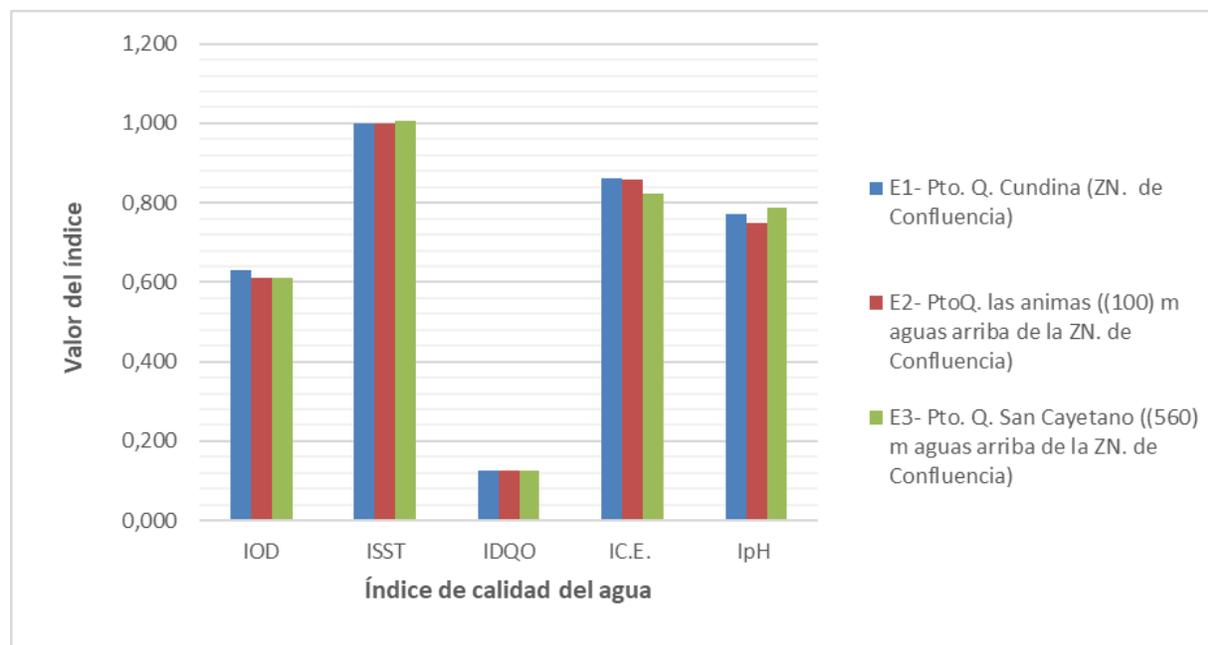


Figura 25. Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

4.2.2. Parámetros valorados para los muestreos 3 y 4

Tabla 42
Determinación del ICA

PARAMETRO (UNIDAD)	CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA													
	EST- 1		Val. Total x	IC A	EST- 2		Val. Total x	IC A	EST- 3		Val. Total x	IC A		
	25/05/2021. (+LI)	20/07/2021. (-LI)			25/05/2021. (+LI)	20/07/2021. (-LI)			25/05/2021. (+LI)	20/07/2021. (-LI)				
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0.740	0.680	0.710	Acceptable	-	-	-	NAP	0.680	0.560	0.620	Regular		
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	1.000	1.000	1.000		-	-	-		1.003	1.000	1.001			
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	0.910	0.910	0.910		-	-	-		0.910	0.910	0.910			
NT/PT (-)	0.150	0.150	0.150		-	-	-		0.000	0.000	0.000			
Conductividad eléctrica (µS/cm)	0.869	0.858	0.863		-	-	-		0.834	0.823	0.828			
pH (Unidades de pH)	0.893	0.861	0.877		-	-	-		0.792	0.848	0.820			
PONDERACIÓN	Valor del ICA		0.749		Valor del ICA		-		Valor del ICA		0.694			
N: 0,17 , pH: 0,15														

Nota. La tabla muestra la calificación de la calidad del agua en dos (2) de los tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (menos lluvias y más lluvias) en donde se resumen las variables que están involucradas en el cálculo del indicador que para el caso se emplearán 6 variables, la unidad de medida en la que se registra cada uno de ellos y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo. Información tomada de los parámetros valorados y suministrados por el Laboratorio de Estudios Ambientales (acreditado por el IDEAM, según resolución No. 1468 de 2019) Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga.

(-) Significa que los datos de la estación (E2) no fueron tomados ni evaluados. NAP. No aplica

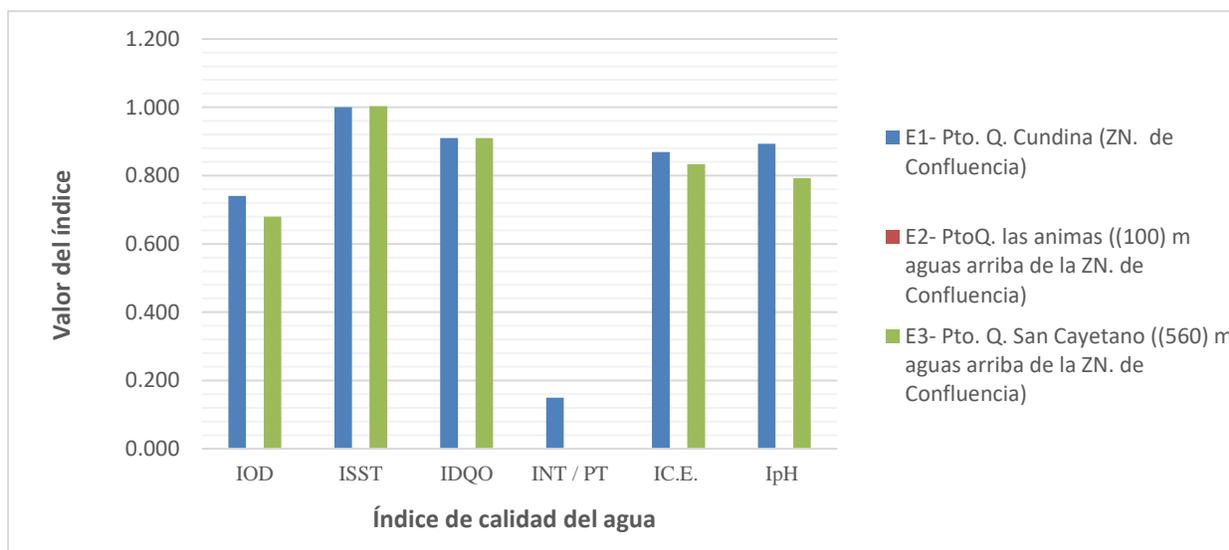


Figura 26. Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias Fuente. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011) Adaptado por: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

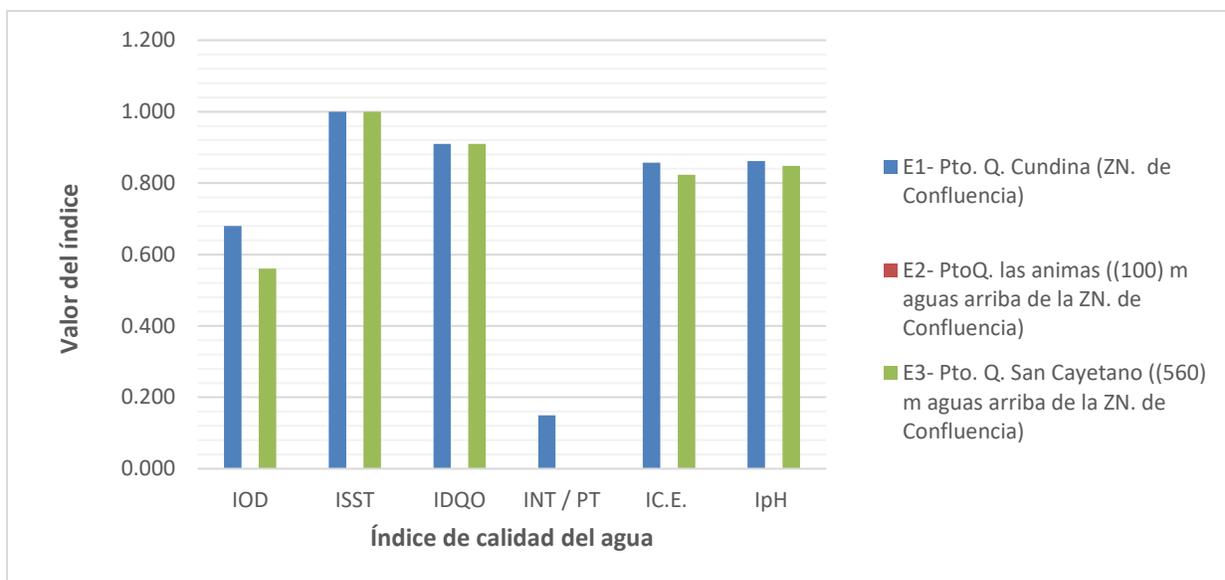


Figura 27. Índices de calidad en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Se observa de manera general al abarcar la sumatoria de los índices de calidad por estación de muestreo según la tabla 40 que el ICA determinado por la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.(2011) para corrientes superficiales como lo es el caso de la quebrada cundina que presentó una clasificación de la calidad del agua como Regular con una señal de alerta de color amarillo que según Sierra Ramírez, C. A.,(2011). significa que se trata de un Recurso hídrico regularmente contaminado (Agua regularmente contaminada) para todas las estaciones (E1, E2 y E3) durante el periodo de menos y más lluvias evaluados por el laboratorio de la UFPSO con valores de (0,685 0,696 y 0,701) respectivamente; en donde la estación de menor a mayor orden de calidad corresponde Al orden (E3, E1 y E2) ya indicado de manera respectiva. Observando además un comportamiento muy similar entre las tres (3) estaciones según lo expresan las gráficas de barras en las figuras (28 y 29) respectivamente. La clasificación regular debido quizás a que apenas iniciaba la temporada de lluvias, determinada para las tres (3) estaciones ya evaluadas,

indica que la calidad del agua se encuentra en un estado que se aleja de las condiciones naturales de una fuente hídrica; en algunas ocasiones, teniendo limitaciones en algunos de los usos potenciales que puede tener este cuerpo de agua.

Se observa según la tabla 42 que el ICA determinado por la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.(2011) para corrientes superficiales como lo es el caso de la microcuenca quebrada cundina que presenta una clasificación de la calidad del agua como Aceptable y Regular con una señal de alerta de color verde y amarillo que según Sierra Ramírez, C. A.,(2011). Significa que se trata de un Recurso hídrico levemente contaminado (Agua buena calidad) y regularmente contaminado (Agua regularmente contaminada) para las estaciones (E1 y E3) durante el periodo de menos y más lluvias evaluados por el laboratorio de la UPB con valores de (0,694 y 0,749); en donde la estación de menor a mayor orden de calidad corresponde Al orden (E3 y E1) ya indicado de manera respectiva. Observando además un comportamiento muy similar entre las tres (3) estaciones según lo expresan las gráficas de barras en las figuras (30 y 31) respectivamente. La clasificación regular, determinada para la estación (E3) ya evaluada, indica que la calidad del agua se encuentra en un estado muy similar al evidenciado en la estación (E3) de la tabla 40; pero se encuentra en mejores condiciones debido a que paso de tener un grado mayor de contaminación a uno menor que corresponde (0,685 a 0,694) respectivamente. La clasificación aceptable, determinada para la estación (E1) ya evaluada, indica que la calidad del agua ya se encuentra en un estado bueno de calidad en comparación al evidenciado en la tabla 40. Todo esto debido quizás a que continuaba de manera extensa la temporada de lluvias; lo que ayudó en definitiva en la medida de que iban frecuentando las lluvias; esta preciada fuente hídrica logró atravesar de su estado de deterioro hacia uno de estabilidad para luego ir posicionándose

por si sola en un estado de recuperación por parte de este cuerpo hídrico según se evidencia en la figura 28.

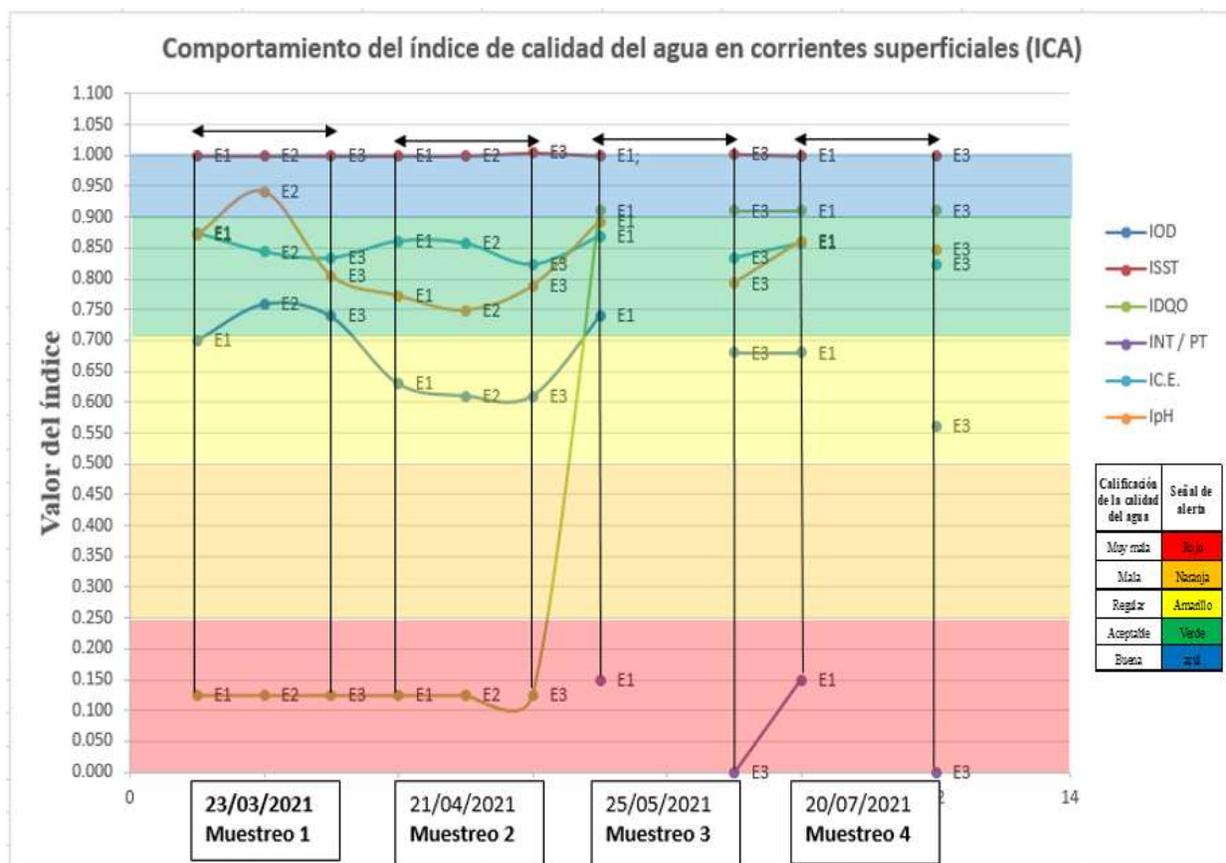


Figura 28. Comportamiento del índice de calidad del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Nota. (El corte de las curvas en el muestreo 3 y 4) Significan que los datos de la estación (E2) no fueron tomados ni evaluados.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

4.3. Determinación de los Índices de Contaminación

La tabla 43 con los parámetros valorados por la UFPSO y tabla 46 de los parámetros valorados por la UPB Promedia los resultados de ambos muestreos para presentar el resultado de Índice de contaminación para la estación. El rango puede interpretarse como el nivel de contaminación o como indicador de calidad. Así: (Azul, Ninguna contaminación o Agua de muy buena calidad. Verde, Baja contaminación o agua de buena calidad. Amarilla, Media contaminación o agua de calidad media. Naranja, Mala contaminación o agua de mala calidad. Roja, Muy alta contaminación o agua de pésima

calidad).

4.3.1. Parámetros evaluados para los muestreos 1 y 2

Tabla 43

Índices de contaminación para cada estación y Época de Estudio

ICO'S	EST- 1				EST- 2				EST- 3			
	MEDIA	RANGO	GRADO DE CONTAMINACIÓN		MEDIA	RANGO	GRADO DE CONTAMINACIÓN		MEDIA	RANGO	GRADO DE CONTAMINACIÓN	
ICOMI (-LI)	0.042		Ninguno		0.052	0-0,2	Ninguno		0.056	0-0,2	Ninguno	
ICOMI (+LI)	0.046	0.044	Ninguno		0.048	0-0,2	Ninguno		0.059	0-0,2	Ninguno	
ICOMO (-LI)	0.625		Alto		0.63	0,6-0,8	Alto		0.593	0,4-0,6	Medio	
ICOMO (+LI)	0.643	0.634	Alto		0.611	0,6-0,8	Alto		0.644	0,6-0,8	Alto	
ICOSUS (-LI)	0.139		Ninguno		0.193	0-0,2	Ninguno		0.031	0-0,2	Ninguno	
ICOSUS (+LI)	0.064	0.102	Ninguno		0.13	0-0,2	Ninguno		0.193	0-0,2	Ninguno	
ICOTEM (-LI)	NA				NA				NA			
ICOTEM (+LI)	NA				NA				NA			
ICOPH (-LI)	0.002		Ninguno		0.003	0-0,2	Ninguno		0.004	0-0,2	Ninguno	
ICOPH (+LI)	0.005	0.004	Ninguno		0.007	0-0,2	Ninguno		0.005	0-0,2	Ninguno	

Nota. La tabla muestra los resultados de cinco (5) índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1997) evaluados en los tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (menos lluvias y más lluvias) en donde se resumen los índices que están involucrados en el cálculo del índices de contaminación acuática (ICO's) que para el caso se emplearán 5 índices; la Información fue tomada de los parámetros valorados y suministrados por el Laboratorio de la UFPSO. NA. No aplica

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.con base en información adaptada del Capítulo III. Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de Importancia mundial. Del libro Índices de Calidad y Contaminación del agua. Fernández Parada y Fredy, (2005) Adaptado por: Grupo Investigación,2021.

Tabla 44

Resumen de los valores de índices de contaminación por estación de muestreo

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN	VALOR DEL ÍNDICE					
	EST- 1		EST- 2		EST- 3	
	(-LI)	(+LI)	(-LI)	(+LI)	(-LI)	(+LI)
ICOMI	0.042	0.046	0.052	0.048	0.056	0.059
ICOMO	0.625	0.643	0.63	0.611	0.593	0.644
ICOSUS	0.139	0.064	0.193	0.13	0.031	0.193
ICOTEM	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ICOPH	0.002	0.005	0.003	0.007	0.004	0.005

Fuente: Ramírez et al. (1999). adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 45

Rango de evaluación de los ICO's y Convenciones

Contaminación	Rango	Indicador de Calidad	Color
Ninguna	0-0,2	Muy buena	Blue
Baja	0,2-0,4	Buena	Green
Media	0,4-0,6	Media	Yellow
Alta	0,6-0,8	Mala	Orange
Muy Alta	0,8-1,0	Pésima	Red

Fuente: Ramírez et al. (1999). adaptado por GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

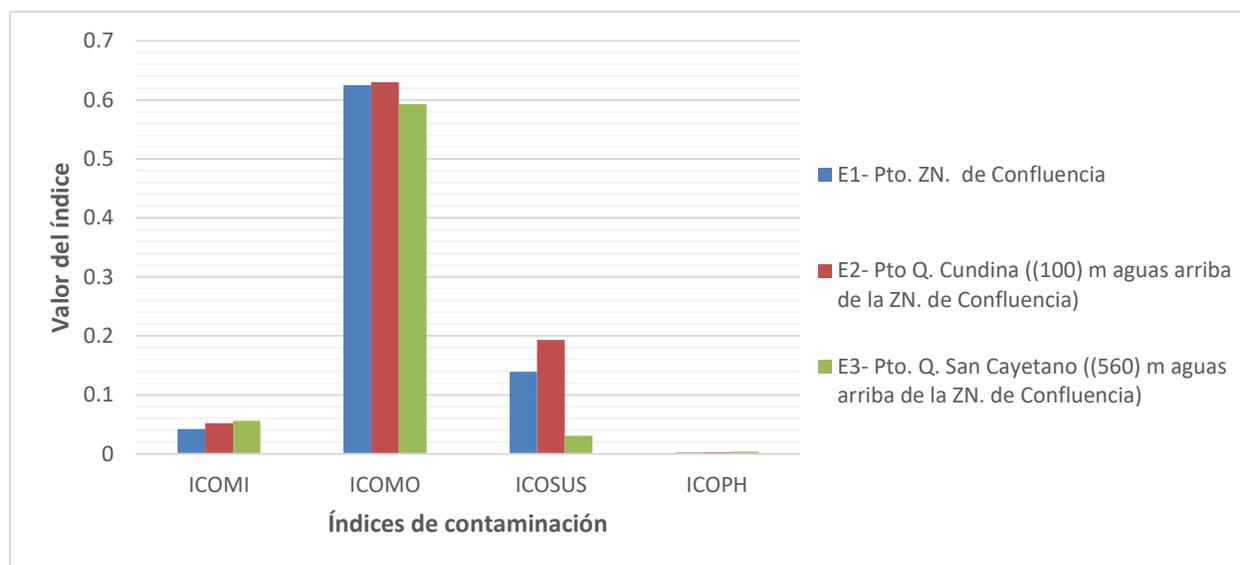


Figura 29. Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

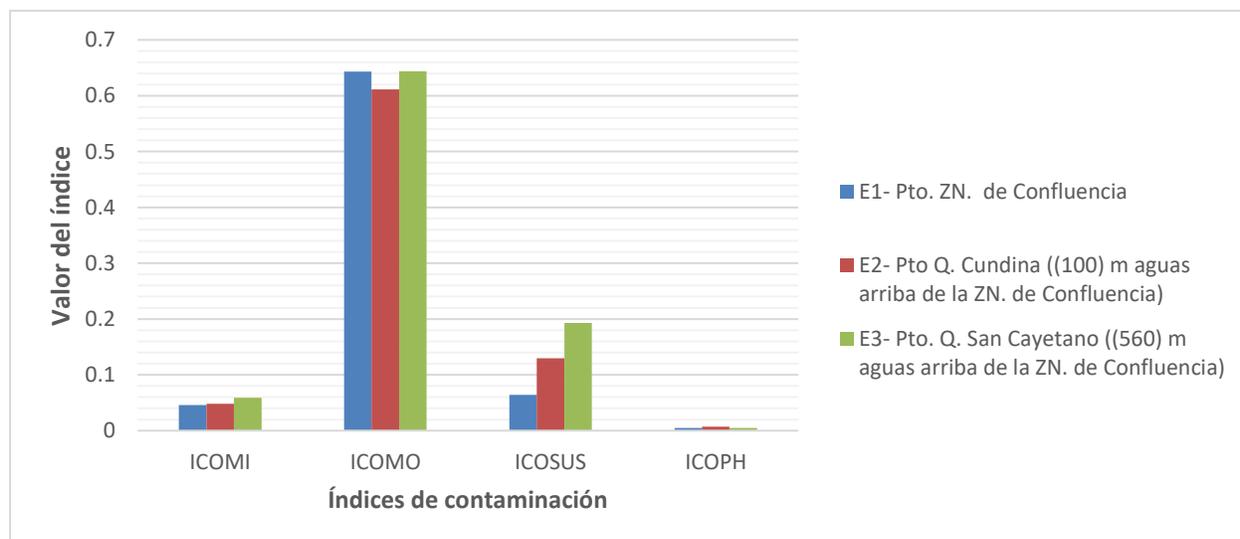


Figura 30. Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

4.3.2. Parámetros evaluados para los muestreos 3 y 4

Tabla 46

Índices de contaminación determinadas para cada estación y Época de Estudio

ICO'S	EST-1	MEDIA	RANGO	GRADO DE CONTAMINACIÓN	EST- 2			GRADO DE CONTAMINACIÓN	EST- 3			GRADO DE CONTAMINACIÓN
					MEDIA	RANGO			MEDIA	RANGO		
ICOMI (+LI)	0.044	0.046	0-0,2	Ninguno	-	-	-	0.056	0.058	0-0,2	Ninguno	
ICOMI (-LI)	0.048		0-0,2	Ninguno	-	-	-	0.059		0-0,2	Ninguno	
ICOMO (+LI)	0.471	0.426	0,4-0,6	Medio	-	-	-	0.415	0.505	0,4-0,6	Medio	
ICOMO (-LI)	0.38		0,2-0,4	Bajo	-	-	-	0.595		0,4-0,6	Medio	
ICOSUS (+LI)	0.163	0.168	0-0,2	Ninguno	-	-	-	0.186	0.185	0-0,2	Ninguno	
ICOSUS (-LI)	0.172		0-0,2	Ninguno	-	-	-	0.184		0-0,2	Ninguno	
ICOTEM (+LI)	0.78	NA							NA			
ICOTEM (-LI)	0.791											
ICOPH (+LI)	0.002	0.003	0-0,2	Ninguno	-	-	-	0.005	0.004	0-0,2	Ninguno	
ICOPH (-LI)	0.003		0-0,2	Ninguno	-	-	-	0.003		0-0,2	Ninguno	

Nota. La tabla muestra los resultados de cinco (5) índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1997) evaluados en los dos (2) de los tres (3) tramos de la microcuenca abastecedora quebrada cundina durante dos periodos estacionales (menos lluvias y más lluvias) en donde se resumen los índices que están involucrados en el cálculo del índices de contaminación acuática (ICO's) que para el caso se emplearon 5 índices; Información tomada de los parámetros valorados y suministrados por el Laboratorio de Estudios Ambientales (acreditado por el IDEAM, según resolución No. 1468 de 2019) Universidad pontificia bolivariana-seccional Bucaramanga. NA. No aplica (_) Significa que los datos de la estación (E2) no fueron tomados ni valorados.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.. con base en información adaptada del Capítulo III. Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICO's) del agua de Importancia mundial. Del libro Índices de Calidad y Contaminación del agua. Fernández Parada y Fredy, (2005).

Tabla 47

Resumen de los valores de índices de contaminación por estación de muestreo

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN	VALOR DEL ÍNDICE					
	EST- 1		EST- 2		EST- 3	
	(+LI)	(-LI)	(+LI)	(-LI)	(+LI)	(-LI)
ICOMI	0.044	0.048	-	-	0.056	0.059
ICOMO	0.471	0.38	-	-	0.415	0.595
ICOSUS	0.163	0.172	-	-	0.186	0.184
ICOTEM	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ICOPH	0.002	0.003	-	-	0.005	0.003

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

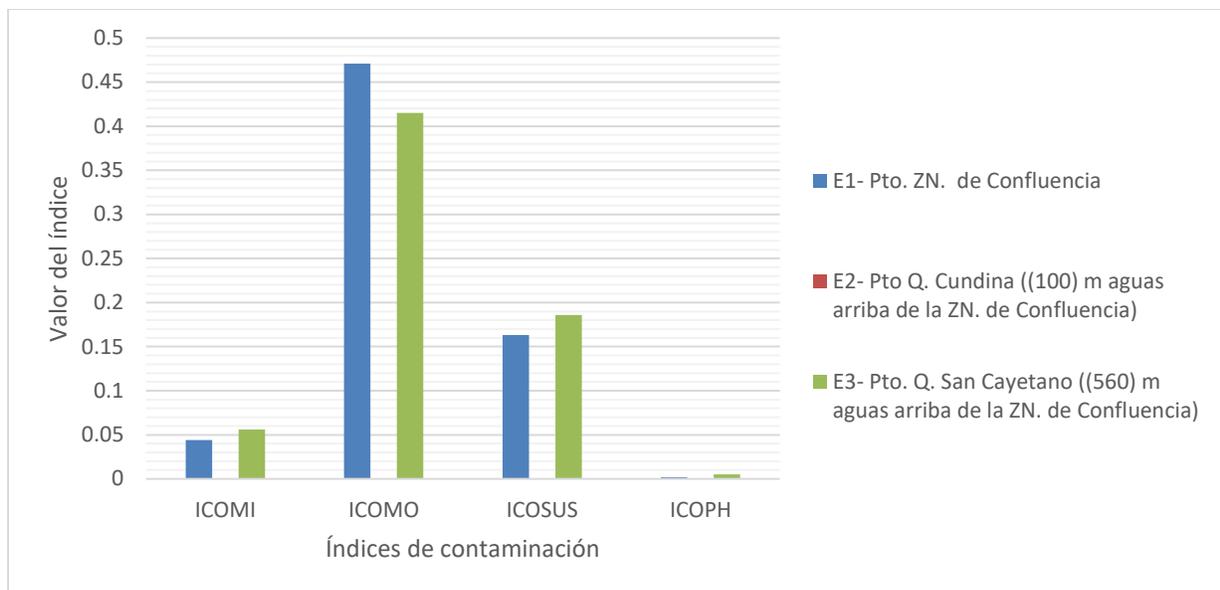


Figura 31. Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de más lluvias
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

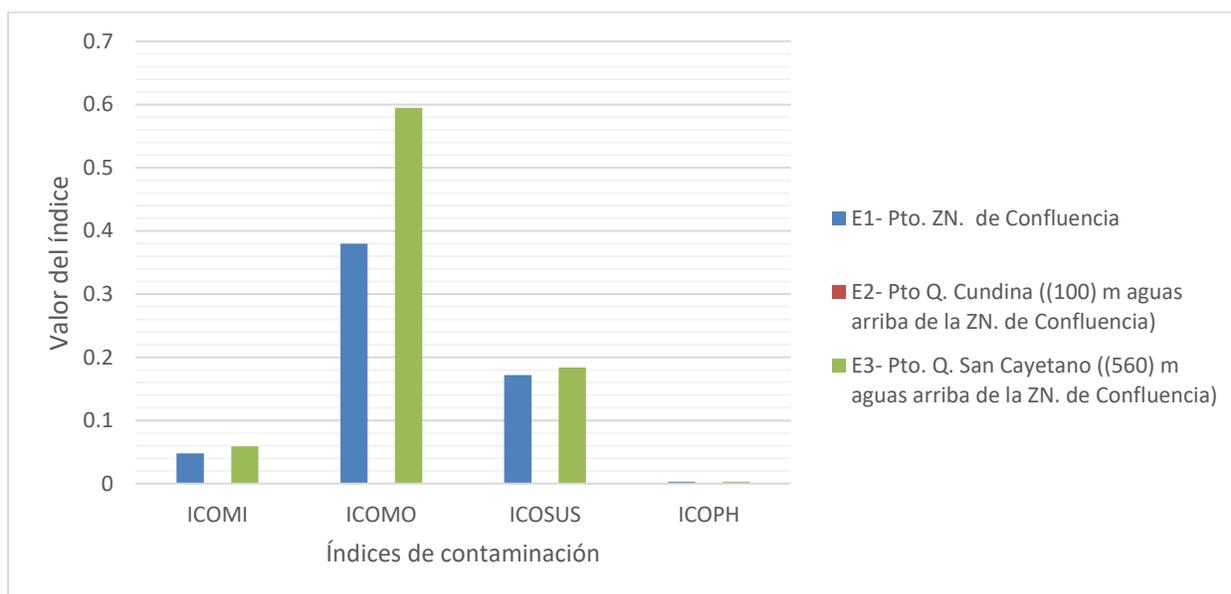


Figura 32. Índices de contaminación en las tres estaciones de estudios durante periodo de menos lluvias
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Como se muestra en la tabla 45 y las figuras 29, 30, 31 y 32 correspondientes a los muestreos realizados en la fuente hídrica de la quebrada cundina, los índices de contaminación acuática (ICOs) propuestos por Ramírez y viña (1997) y ratificados por el software del Icatest

v1.0.0.44 propuesto por Fernández Parada & Solano Ortega (2005), Ninguna de las estaciones presentaron contaminación por mineralización, por solidos suspendidos, ni tampoco se presentaron cambios significativos en el pH atribuido a la eutrofización del sistema. Sin embargo se observaron en las estaciones (E1, E2 y “E3: durante la época de más lluvias”) condiciones de alta contaminación (Mala calidad) por exceso de materia orgánica a la capacidad autodepuradora de la quebrada; durante el primer y segundo muestreo, mejorando de manera notoria su condición en la estación “E3: correspondiente a la época de menos lluvias” durante el primer muestreo, en la estación “E1: correspondientes a la época de más lluvias”, durante el tercer muestreo y en la estación (E3) durante el cuarto muestreo; registrándose una contaminación media (calidad media) y por ultimo presentándose unas mejora mucho más notoria pero no tan significativa en la estación “E1 correspondiente a la época de menos lluvia” durante el cuarto muestreo; registrándose una contaminación baja (buena calidad). Posiblemente por las intervenciones del componente antrópico como lo son las actividades que dejan consigo (residuos domésticos, residuos principalmente de materia orgánica y grasas provenientes de pozos sépticos y demás residuos provenientes de actividades agrícolas y agropecuarias) que modifican el equilibrio de la demanda biológica de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno en el agua.

De forma puntual en el tiempo, el nivel alto de contaminación (Mala calidad) por exceso de materia orgánica para el primer y segundo muestreo, puede estar asociado a la poca y escasa frecuencia escorrentías derivadas de periodos torrenciales de fuertes lluvias y la disminución en los niveles de contaminación evidenciada para el tercero y cuarto muestreo, asociado a los mayores valores de caudal registrados durante los cuatro (4) muestreos evidenciándose un mayor aumento en las lluvias con respecto a los dos primeros muestreos. La tabla 43 y la tabla

46 muestran que las posibles intervenciones de los asentamientos antrópicos por parte de la vereda san cayetano; como lo son las actividades que dejan consigo cierto tipo de residuos que por gravedad pueden llegar primeramente a la estación (E3) de la quebrada cundina y finalmente a la estación (E1) ; todo esto atribuido al cambio en las concentraciones de las variables (DBO, coliformes totales y OD) al entrar en contacto con el sistema hídrico en la estación (E3) disminuyendo considerablemente su nivel de contaminación conforme aumentan las lluvias y se logra autodepurar a lo largo de su recorrido por la microcuenca. En efecto se producen alteraciones sobre las reacciones químicas y procesos biológicos presentes en los diferentes niveles de profundidad de la lámina de agua que se vieron evidenciados en los resultados del reporte fisicoquímico y microbiológico en la tabla (31 y 33) y que también en igual medida quedarán detectados por los macroinvertebrados acuáticos evaluados bajo el índice (BMWP/col y el ICOBIO), los cuales medirán el efecto de la contaminación presente sobre la dinámica del ecosistema en la estación (E3).

En términos de calidad, la quebrada cundina presenta condiciones de muy buena calidad del agua en todas las estaciones de muestreo si se consideran únicamente variables relacionadas a procesos de mineralización, sólidos suspendidos y cambios de pH. Estos resultados presentan una evolución en la calidad del agua respecto a los obtenidos en las diferentes estaciones de la fuente hídrica a la que pertenece definidas a lo largo del río algodonal en el monitoreo realizado por la Organización Promotora Medio Ambiental, (2008); quienes encontraron niveles de contaminación por materia Orgánica muy alto (pésima calidad) en los puntos: la Hamaca, Km23, Guayabal, San Luis y aguas arriba de la confluencia del río algodonal y el río Tejo. Igualmente, encontraron niveles muy bajos de contaminación (muy buena calidad) por sólidos suspendidos. excepto en el punto la hamaca o, para el presente

estudio, cercano al punto (E3) lo cual indica una tendencia sostenida de contaminación aguas abajo de la laguna de estabilización de Abrego.

Al margen de la rápida capacidad de autodepuración de la quebrada por la gran cantidad de rápidos y la misma morfología del cuerpo de agua, La condición de contaminación media (calidad media) por materia orgánica repetidas en las dos (2) estaciones de los dos últimos muestreos (tercero y cuarto), significa que la quebrada a pesar de haber tomado al inicio en el (primer y segundo) muestreo; los valores de una condición muy alta de contaminación (Pésima calidad) si alcanza a recuperarse completamente del aporte constante proveniente de residuos domésticos, residuos principalmente de materia orgánica y grasas provenientes de pozos sépticos y demás residuos provenientes de actividades agrícolas y agropecuarias. Mostrando el mismo comportamiento para el caso de las temperaturas obtenidas a lo largo de la fuente hídrica; Estas condiciones, en sí mismas constituyen un objetivo de calidad con futuras estrategias de gestión orientadas a generar una regresión o estabilización de la tendencia aun desequilibrio de materia orgánica y mejorar así la integridad en la dinámica natural del cauce objeto de estudio según lo evidenciado en la figura 33.

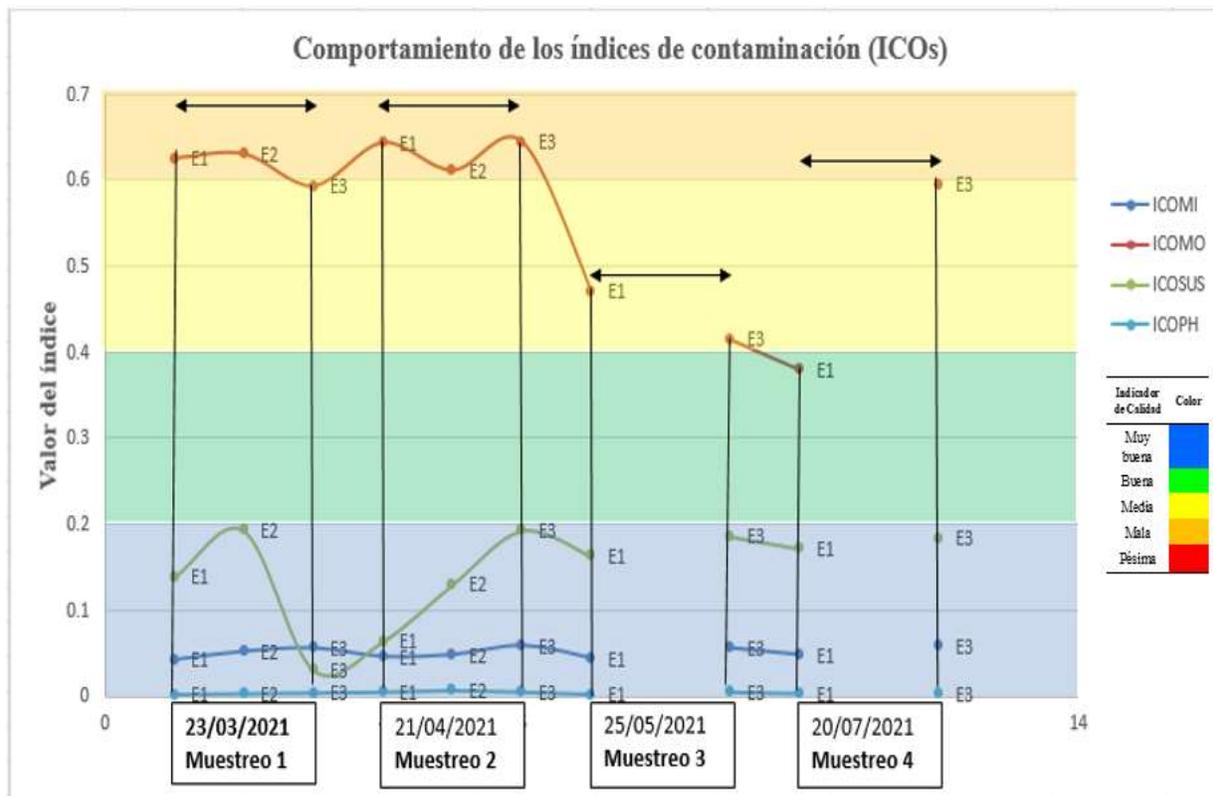


Figura 33. Comportamiento de los índices de contaminación (ICOs) del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Nota. (El corte de las curvas en los muestreos 3 y 4) Significan que los datos de la estación (E2) no fueron tomados ni evaluados.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

4.4. Diversidad de Macroinvertebrados Acuáticos.

El muestreo de grupos bio-indicadores en el agua, Durante periodos de más y menos lluvias proporciona información de factores de contaminación presentes a lo largo del tiempo. Estos en teoría pueden llegar a manifestarse desde respuestas bioquímicas y fisiológicas individuales hasta respuestas anivel de población o a nivel de comunidad. Sin embargo, el principio elemental es la sensibilidad a las concentraciones de ciertas variables físico-químicas que determinan comportamientos y cambios estructurales en sus poblaciones. De esta manera, se puede determinar la calidad del agua presente en una determinada fuente hídrica.

Tabla 48

Clasificación taxonómica de Macro invertebrados colectadas en las tres estaciones en periodo de más y menos lluvias

Clasificación Taxonómica Reconocida			Periodo de Muestreo y Riqueza por Estaciones												
Clase	Orden	Familia	23/03/2021.(-Ll)			21/04/2021.(+Ll)			25/05/2021.(+Ll)			20/07/2021.(-Ll)			
			E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	
Insecta	Coleoptera	Elmidae	0	0	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	
		Hydrophilidae	1	0	24	0	0	3	0	0	3	0	0	0	
		Ptilodactylidae	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	
		Psephenidae	7	5	3	19	3	23	23	2	29	16	15	7	
		Aeshnidae	21	7	0	0	14	2	0	18	2	5	2	0	
	Odonata	Calopterygidae	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1	0	0	
		Libellulidae	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Hemiptera	Coenagrionidae	Gomphidae	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
			Naucoridae	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0
		Plecoptera	Perlidae	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0
	Oligochaeta	Tubificida	Naididae	0	0	0	0	2	77	1	1	98	0	0	1
2	5	12	33	14	31	24	21	110	27	22	135	24	17	8	

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

La Diversidad en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos está representada por 466 individuos representados por dos (2) clases, cinco (5) Órdenes y 12 Familias distribuidas en tres (3) estaciones durante los dos muestreos realizados. En periodo de menos lluvias se colectaron 127 individuos y para el muestreo de más lluvias se colectaron 339 individuos respectivamente. Los macroinvertebrados acuáticos encontrados se mostraban en su mayoría en etapa larval o de ninfa. Se registrarón pocos ejemplares en estado adulto. La tabla 48 muestra que proporcionalmente, predomina la clase insecta, con un total de 11 familias, seguidamente aparecen la clase Oligochaeta con una (1) familia identificada.

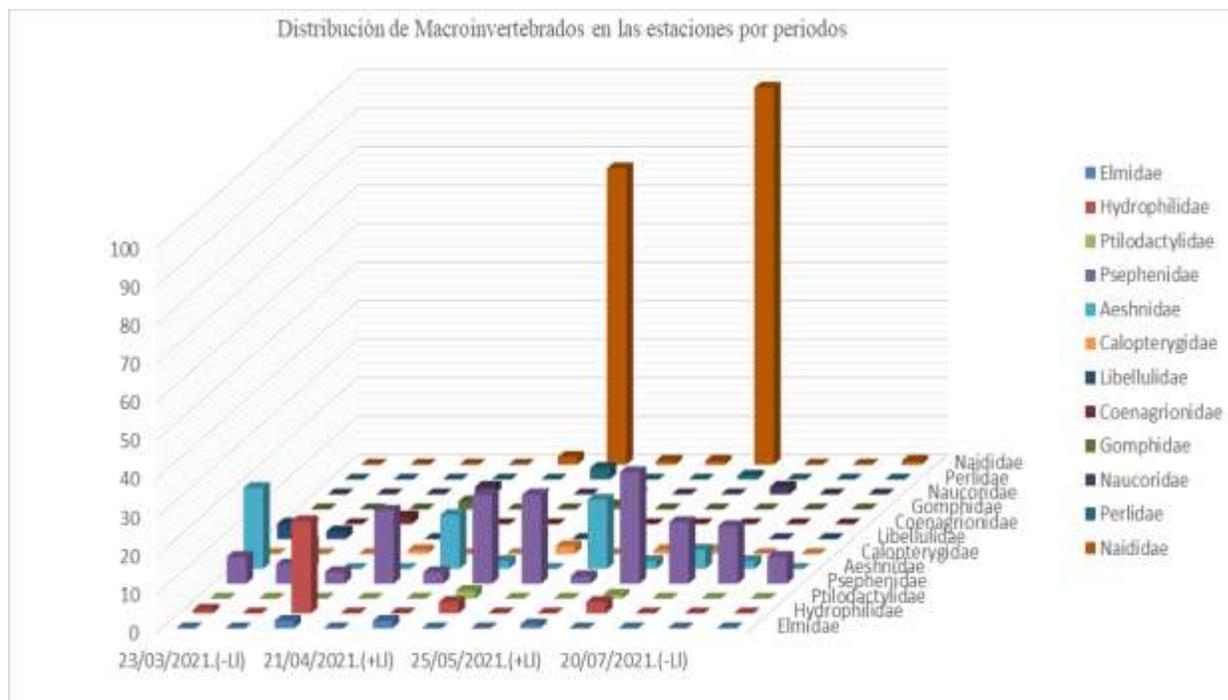


Figura 34. Distribución de Macroinvertebrados en las estaciones por periodos

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 49

Familias Macro invertebrados de mayor importancia en las estaciones

Componentes	Familias	Total Identificadas	Total Identificado (%)
1	<i>Naididae</i>	180	38.627
2	<i>Psephenidae</i>	152	32.618
3	<i>Aeshnidae</i>	71	15.236
4	<i>Hydrophilidae</i>	31	6.652
5	<i>Libellulidae</i>	6	1.288
6	<i>Elmidae</i>	5	1.073
7	<i>Calopterygidae</i>	5	1.073
8	<i>Naucoridae</i>	4	0.858
9	<i>Perlidae</i>	4	0.858
	Σ	458	98.283

Nota: la tabla relaciona el % total identificado de las familias con mayor frecuencia de aparición en las estaciones.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

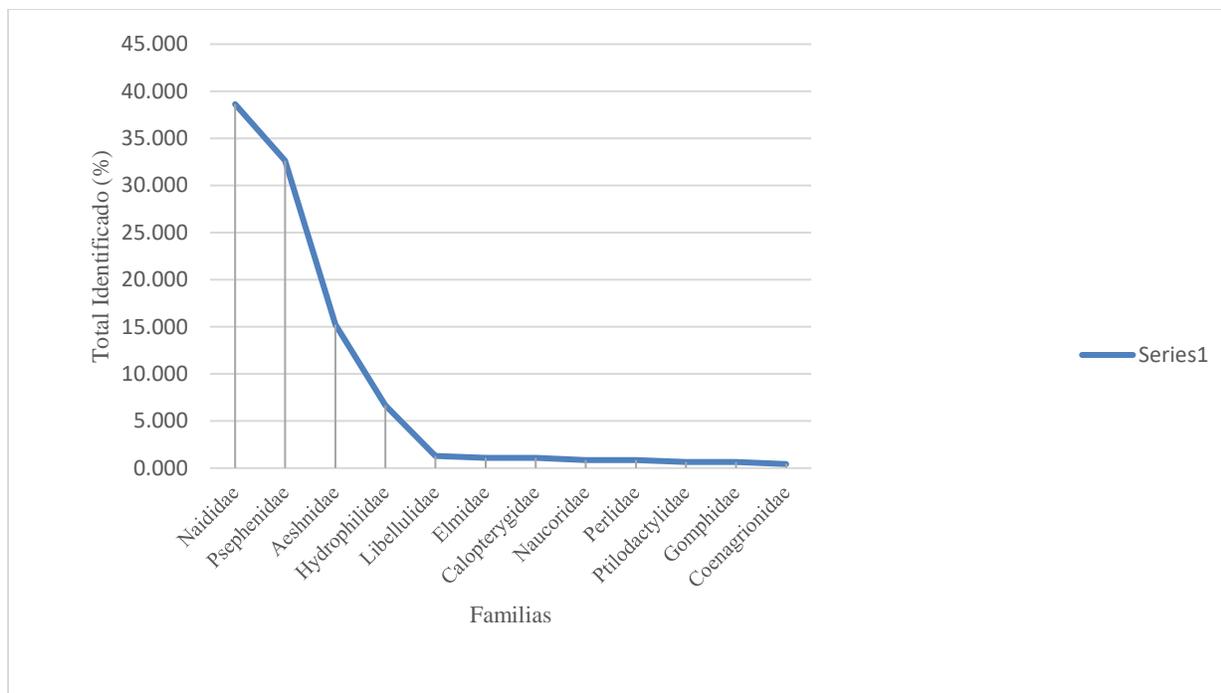


Figura 35. Gráficos de familias más dominantes identificadas en las cinco estaciones de muestreo
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Familias de Macro invertebrados más importantes. La tabla 49 muestra que de 12 familias taxonómicamente identificadas, solo nueve (9) familias, tiene un total identificado de 98.283 % porque registrarón mayor frecuencias de aparición de individuos en cada estación de muestreo. Sin embargo, entre las familias más importantes, el gráfico de sedimentación (figura 39) señala que solo cuatro (4) (Naididae, Psephenidae, Aeshnidae y Hydrophilidae), son las que tienen mayor dominancia respecto a las demás, agrupando entre ellas un porcentaje de varianza de 93.133% esto quiere decir, que se repitieron con mayor frecuencia en todas las estaciones.

4.5. Índice BMWP/col y ASPT

Tabla 50

Taxones reconocidos en las estaciones de muestreo

Puntaje BMWP/col	Familias Bio-Indicadoras Reconocidas En Las Cinco Estaciones De Muestreo		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3
6		<i>Elmidae</i>	<i>Elmidae</i>
3	<i>Hydrophilidae</i>		<i>Hydrophilidae</i>
10	<i>Ptilodactylidae</i>		<i>Ptilodactylidae</i>
10	<i>Psephenidae</i>	<i>Psephenidae</i>	<i>Psephenidae</i>
6	<i>Aeshnidae</i>	<i>Aeshnidae</i>	<i>Aeshnidae</i>
7	<i>Calopterygidae</i>		<i>Calopterygidae</i>
5	<i>Libellulidae</i>	<i>Libellulidae</i>	
7			<i>Coenagrionidae</i>
9	<i>Gomphidae</i>		
8	<i>Naucoridae</i>		
10			<i>Perlidae</i>
1	<i>Naididae</i>	<i>Naididae</i>	<i>Naididae</i>
BMWP	59	28	60

Nota: La tabla relaciona las puntuaciones asignas a las familias de macro invertebrados bentónicos identificados en las estaciones durante los cuatro (4) muestreos. La sumatoria de puntajes por estaciones corresponde al índice BMWP/col.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 51

Estado de la calidad del agua de acuerdo a BMWP/Col, ASPT; Roldan (2003)

ESTACIÓN	EST-1	EST-2	EST-3
Número de Familias	9	5	9
Valor del BMWP/Col	59	28	60
Valor del ASPT	6,6	5,6	6,7
Clase	Clase II	Clase III	Clase II
Calidad	Aceptable Ligeramente	Dudosa	Aceptable Ligeramente
Significado	contaminadas: se evidencian efectos de contaminación	Aguas Moderadamente contaminadas	contaminadas: se evidencian efectos de contaminación

Nota: Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Los resultados arrojados por el índice BMWP/Col indican que las estaciones (E1 y E3) durante los muestreos; presentaron una calidad del agua de clase II (Aceptable: Evidentes Algunos efectos de la contaminación) indicando así que la estructura y composición de las poblaciones de macroinvertebrados presentes en estos ecosistemas sea modificado levemente

por algunos efectos evidentes de la contaminación como lo pueden ser por las intervenciones del componente antrópico como lo son las actividades que dejan consigo (residuos domésticos, residuos principalmente de materia orgánica y grasas provenientes de pozos sépticos y demás residuos provenientes de actividades agrícolas y agropecuarias. Dicho resultado es muy similar al encontrado en la fuente hídrica del río algodonal del capítulo 6 “*Evaluación de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río algodonal (Ocaña-norte de Santander) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos por* (Rueda carrascal, Cadena Morales, & Gómez Torrado, 2020) del libro *Aportes al desarrollo sostenible desde el enfoque de las ciencias agrarias y del ambiente para el Nororiente colombiano compilado por* (Herrera Galviz & Hurtado Lugo, 2020, pág. 41)” a la que pertenece la microcuenca abastecedora quebrada cundina según el IDEAM, 2004; en donde se obtiene un resultado de clase II (Aceptable) en los puntos de muestreos (M1 y M2) correspondientes al ponderado IASPT del índice de BMWP; evidenciándose Algunos efectos de contaminación al igual que en las estaciones (E1 y E3) de nuestra investigación.

Si bien es cierto, un puntaje de 59 y 60 en el índice de BMWP/col ubica la calidad del agua en clase III (Dudosa: aguas moderadamente contaminadas) y su aponderado ASPT lo que hace es que corrige el error de puntuación media por taxón por todos los taxones evaluados y eleva la calidad del agua de estas dos estaciones hasta la clase II (aceptable) respectivamente. Este comportamiento indica que los ecosistemas acuáticos en estos momentos, se encuentran en una etapa de resiliencia y poseen algunos nichos complejos de relaciones ecológicas que le permiten ofrecer una resistencia frente a los diferentes agentes de contaminación descritos anteriormente en la investigación.

Por otra parte, la calidad del agua evidenciada en los muestreos realizados en la estación

(E2); revelaron resultados de clase IV (Crítica: Aguas muy contaminadas) medido por el índice BMWP/col y su aponderado ASPT lo que hace es que corrige el error de puntuación media por taxón por todos los taxones evaluados y eleva la calidad del agua de esta estación hasta la clase III (Dudosa); debido posiblemente al aporte de un alto contenido de materia orgánica por descomposición de una densa capa vegetal, no se descarta la presencia de Aguas con contenido de residuos domésticos, residuos de actividades agrícolas sin ningún tipo de tratamiento que se desarrollan quizás de manera clandestina a pequeña escala aguas arriba de la presente estación. Sin embargo, debido al comportamiento inesperado en la estación (E2) mencionada anteriormente se incluyen también los efectos de extracciones de material de arena presentes en la quebrada cundina aguas arriba después de la estación (E2). Todas estas posibles causas, producen efectos de contaminación sobre los ecosistemas aledaños al cordón ripario del cauce y al interior de la lámina de agua descritos en los análisis fisicoquímicos pero que son moderadas por los nichos ecológicos y las relaciones interespecíficas de la población de macroinvertebrados presentes en estos ecosistemas evidentemente menos intervenidos que los encontrados en las estaciones (E1 y E3).

En general, los resultados de calidad del agua evaluados en el índice BMWP/col siguen un patrón de recuperación desde aguas arriba de los focos de contaminación hacia aguas abajo según se observa en la figura 36; .Así, por ejemplo, la calidad del agua reportada en clase II (aceptable) en la estación (E3) se estabiliza nuevamente a nivel II (aceptable) en la estación (E1) durante un trayecto de 560 metros aproximadamente; Evidenciándose durante el recorrido efectos de la actividad antrópica de la población san cayetana asentadas al margen de la quebrada. Sin embargo, en el otro tramo; el ecosistema parece recuperarse con algún proceso de remoción de cargas contaminantes de la lámina de agua al iniciar desde la estación

(E2) con clase III (Dudosa) durante un trayecto de 100 metros aproximadamente hasta un nivel II (aceptable) en la estación (E1) de la quebrada cundina. Este patrón de resultados es contrario a los observados en el caso de estudio del río Meléndez Zúñiga, (2009) citado por Miranda Sanguino, R. A., Ramírez Martínez, R. D., Hernández López, K., & Angarita Castilla, W. (2019) sobre el cual se detectó que la parte media de la cuenca se degradaba al pasar de clase II, con contaminación incipiente, a clase III y IV con nivel de contaminación orgánicas muy altos. Sin embargo, se logró evidenciar estabilidad en la clase II (Aceptable) con Algunos efectos Evidentes de contaminación en el tramo comprendido entre la estación (E3 y E1) y una recuperación que fue lenta en el tramo entre la estación (E2 y E1) de la quebrada cundina en donde se denotó dicho comportamiento alo largo de las estaciones. (ver mapa de calidad del agua).

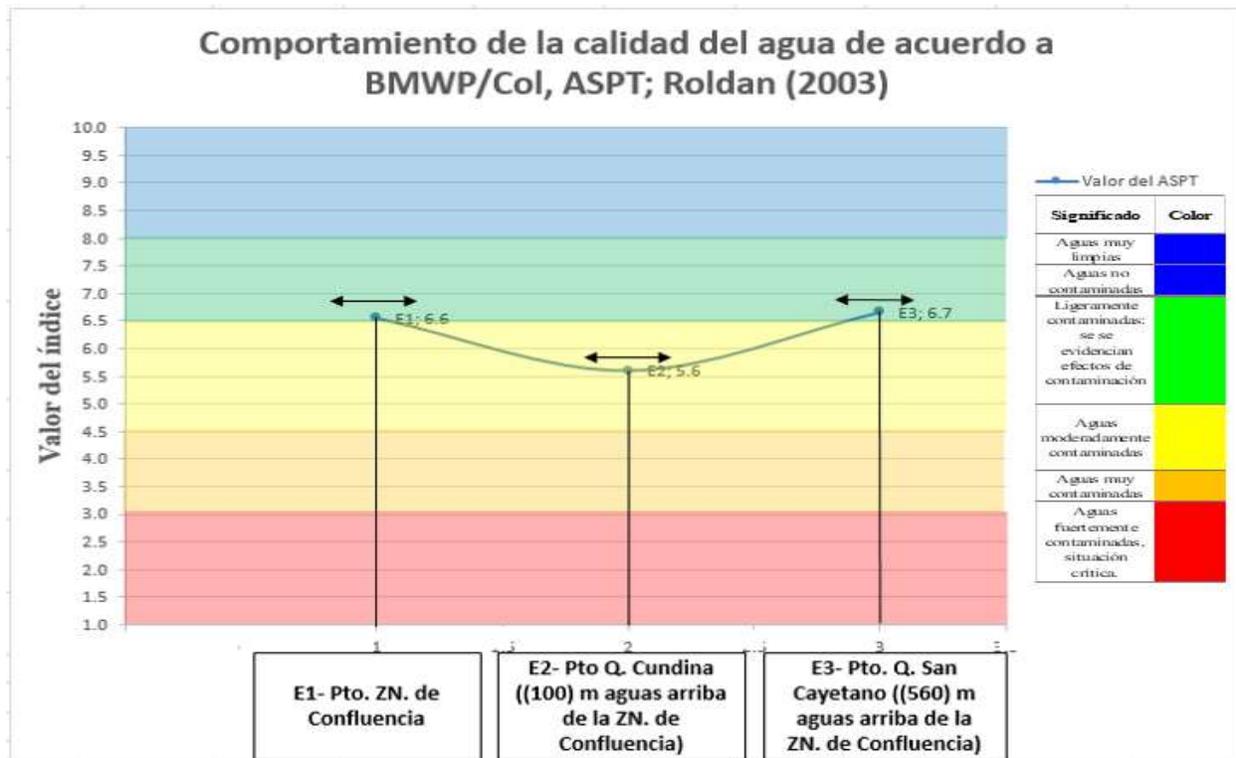


Figura 36. Comportamiento de los índices BMWP/Col, ASPT; Roldan (2003) del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

4.6 Índice de Contaminación Biológica entre Estaciones (ICOBIO)

Tabla 52

Macroinvertebrados recolectados durante los cuatro (4) muestreos

Clase	Orden	Familia	23/03/2021.(-LI)			21/04/2021.(+LI)		
			E1	E2	E3	E1	E2	E3
Insecta	Coleoptera	Elmidae	0	0	2	0	3	0
		Hydrophilidae	1	0	24	0	0	6
		Ptilodactylidae	0	0	0	0	0	3
		Psephenidae	23	25	10	42	5	52
		Aeshnidae	26	9	0	0	32	4
	Odonata	Calopterygidae	1	0	0	3	0	1
		Libellulidae	4	2	0	0	0	0
		Coenagrionidae	0	0	2	0	0	0
	Hemiptera	Gomphidae	0	0	0	3	0	0
		Naucoridae	2	0	0	2	0	0
Plecoptera	Perlidae	0	0	0	0	0	4	
Oligochaeta	Tubificida	Naididae	0	0	1	1	3	175

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Tabla 53

Índice de contaminación Biótica entre estaciones y periodos de muestreo

Estaciones	23/03/2021.(-LI)			21/04/2021.(+LI)			ICOBIO General	
	Temporada Menos Lluvias (-LI)			Temporada Más Lluvias (+LI)			ICOBIO Promedio	Clasificación
Clúster	ICOBIO	Rango	Clasificación	ICOBIO	Rango	Clasificación		
(E1-E2)	0,636	0,6-0,8	Alto	0,533	0,4-0,6	Medio	0,5845	Medio
(E1-E3)	0,571	0,4-0,6	Medio	0,526	0,4-0,6	Medio	0,5485	Medio
(E2-E3)	0,538	0,4-0,6	Medio	0,588	0,4-0,6	Medio	0,563	Medio
	25/05/2021.(+LI)			20/07/2021.(-LI)			ICOBIO General	
Estaciones	Temporada Más Lluvias (+LI)			Temporada Menos Lluvias (-LI)			ICOBIO Promedio	Clasificación
Clúster	ICOBIO	Rango	Clasificación	ICOBIO	Rango	Clasificación		
(E1-E2)	0,571	0,4-0,6	Medio	0,6	0,4-0,6	Medio	0,5855	Medio
(E1-E3)	0,579	0,4-0,6	Medio	0,545	0,4-0,6	Medio	0,562	Medio
(E2-E3)	0,579	0,4-0,6	Medio	0,571	0,4-0,6	Medio	0,575	Medio
	23/03/2021.(-LI)			21/04/2021.(+LI)			ICOBIO General	
	20/07/2021.(-LI)			25/05/2021.(+LI)			ICOBIO General	
Estaciones	Temporada Menos Lluvias (-LI)			Temporada Más Lluvias (+LI)			ICOBIO Promedio	Clasificación
Clúster	ICOBIO	Rango	Clasificación	ICOBIO	Rango	Clasificación		
(E1-E2)	0,6	0,4-0,6	Medio	0,562	0,4-0,6	Medio	0,581	Medio
(E1-E3)	0,55	0,4-0,6	Medio	0,571	0,4-0,6	Medio	0,5605	Medio
(E2-E3)	0,533	0,4-0,6	Medio	0,579	0,4-0,6	Medio	0,556	Medio

Nota: La tabla muestra el Índice de Contaminación Biótica evaluado entre estaciones con base a los datos colectados durante los cuatro (4) muestreos realizados.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

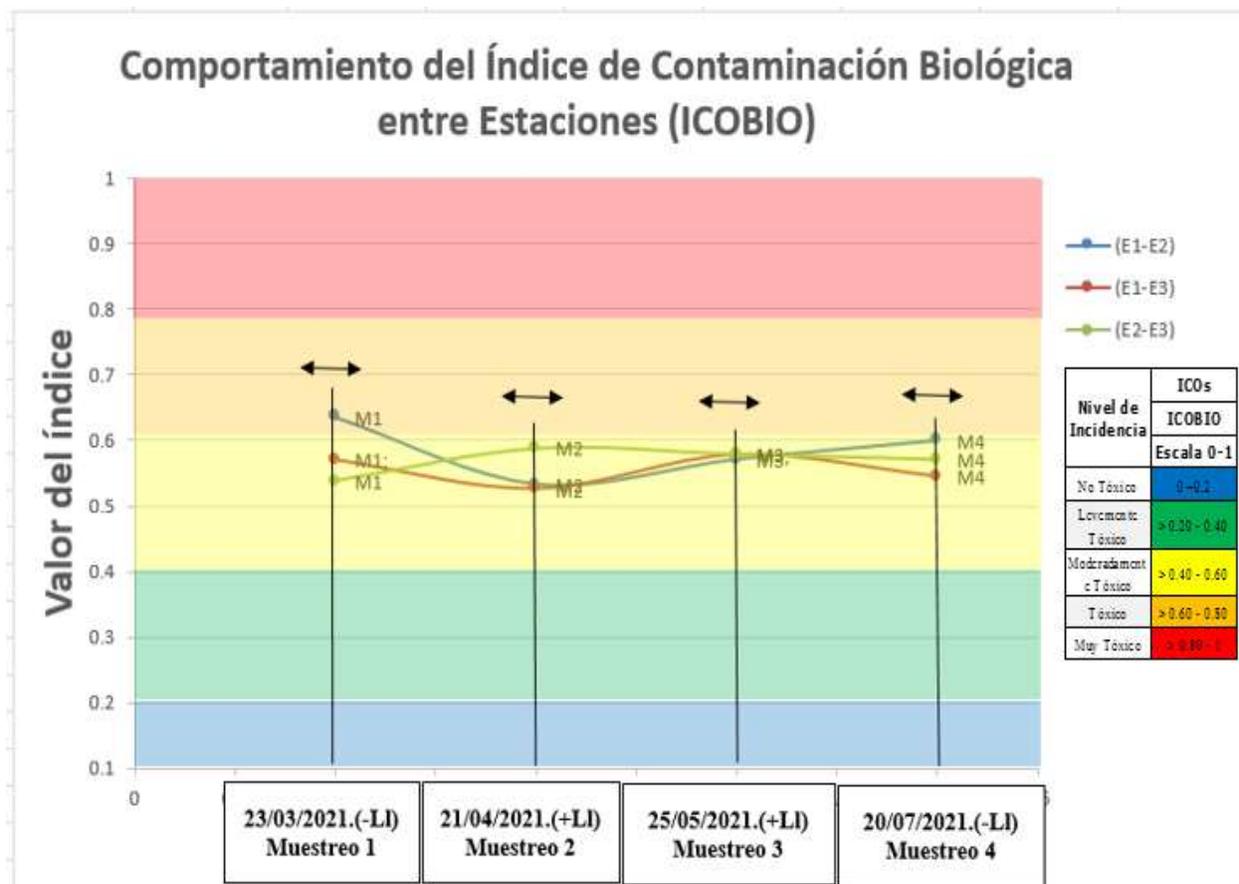


Figura 37. Comportamiento del índice de contaminación Biológica entre estaciones (ICOBIO) del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

En términos de contaminación, el ICOBIO mide la similitud de la comunidad de macroinvertebrados entre dos estaciones. Es decir: que entre más se parezcan dos puntos, menor será la contaminación. En este sentido, La tabla 53 y la figura 37 indican que, a nivel general, el tramo comprendido entre las estaciones (E1 y E2) se reporta alto grado de contaminación durante el primer (1) muestreo de la Temporada Menos Lluvias (-LI). Esto probablemente se deba a que esta estación (E1) se encuentran en zonas cercanas dedicadas a actividades agrícolas en su mayoría y actividades pecuarias mientras que la estación E2 se encuentran en zonas dedicadas al aporte de un alto contenido de materia orgánica por

descomposición de una densa capa vegetal, no se descarta la presencia de Aguas con contenido de residuos domésticos, residuos de actividades agrícolas sin ningún tipo de tratamiento que se desarrollan quizás de manera clandestina a pequeña escala aguas arriba de la presente estación.

Los ecosistemas que están ubicados entre las estaciones (E1 y E3) que corresponden a una parte muy importante del tramo perteneciente al cauce de estudio, soportan las presiones de varios focos o agentes de contaminación identificados a lo largo de la quebrada san cayetano y su confluencia con la quebrada cundina (Intervenciones del componente antrópico como lo son las actividades que dejan consigo (residuos domésticos, residuos principalmente de materia orgánica y grasas provenientes de pozos sépticos y demás residuos provenientes de actividades agrícolas y agropecuarias etc.) Los efectos ecológicos sobre los ecosistemas se atenúan en la temporada de más lluvias cuando los niveles altos de caudales disminuyen la concentración de carga orgánica; el contenido de residuos de diferentes tipos presentes en el recurso hídrico, se incrementa el oxígeno disuelto y dan lugar a los procesos de regeneración de la dinámica natural del cauce; los cuales les permiten a los ecosistemas presentar mayor resistencia a los agentes contaminantes.

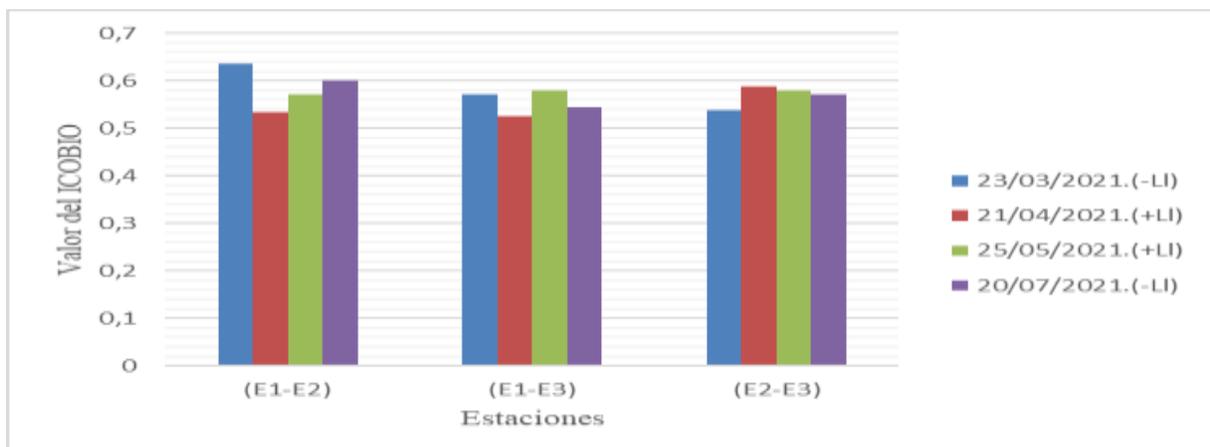


Figura 38. Gráfico del índice de contaminación Biológica entre estaciones y periodo de muestreo.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Es necesario dar a conocer que, aunque el grado de clasificación según la figura 37 en cuanto a la contaminación arrojada por el índice ICOBIO entre estaciones siempre fue (Medio: Moderadamente tóxico); se debe mencionar que los valores siempre son mayores para los tramos comprendidos entre dos (2) estaciones durante la época de menos lluvias (23/03/2021 y 20/07/2021) y que estos mismos valores van disminuyendo conforme hacen presencia las temporadas de más lluvias (21/04/2021 y 25/05/2021) en la región. Tomando como referencia la cercanía entre estaciones, los comportamientos posiblemente se deban a que durante los periodos de menos lluvias existe menor dilución natural de contaminantes en comparación con la época de más lluvias en donde la dilución es mayor.

El índice de Contaminación Biótico muestra que hay una diferencia significativa en el tramo comprendido entre las estaciones (E1-E2) en donde se presentaron variaciones de contaminación Alta-Media entre los muestreos (Primero y Segundo) de más y menos lluvias. Al margen de que no se detectará contaminación por mineralización (ICOMI) y sólidos suspendidos (ICOSUS); Ni se obtuviera contaminación por cambios significativos en el pH atribuido a la eutrofización del sistema, y apenas se obtuvieran niveles altos de contaminación (Mala calidad) por exceso de materia orgánica (ICOMO) a la capacidad autodepuradora de la quebrada; es muy posible que la carga orgánica sin tratamiento evidenciada de manera significativa en la estación (E1, E2 y “E3: durante la época de más lluvias”) se encuentre alterando la estructura, composición y función de las comunidades biológicas presentes en las estaciones.

4.7. Relación análisis estadístico-correlacional con base a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Para efectos de la correlación canónica entre variables ambientales, la matriz de

correlación de Pearson (ver Apéndice E), muestra las variables fisicoquímicas y microbiológicas más significativas (fuerza de correlación positiva y negativa). Se representan las familias más importantes encontradas en las unidades de muestreo (ver figura 35 sedimentación de macro invertebrados).

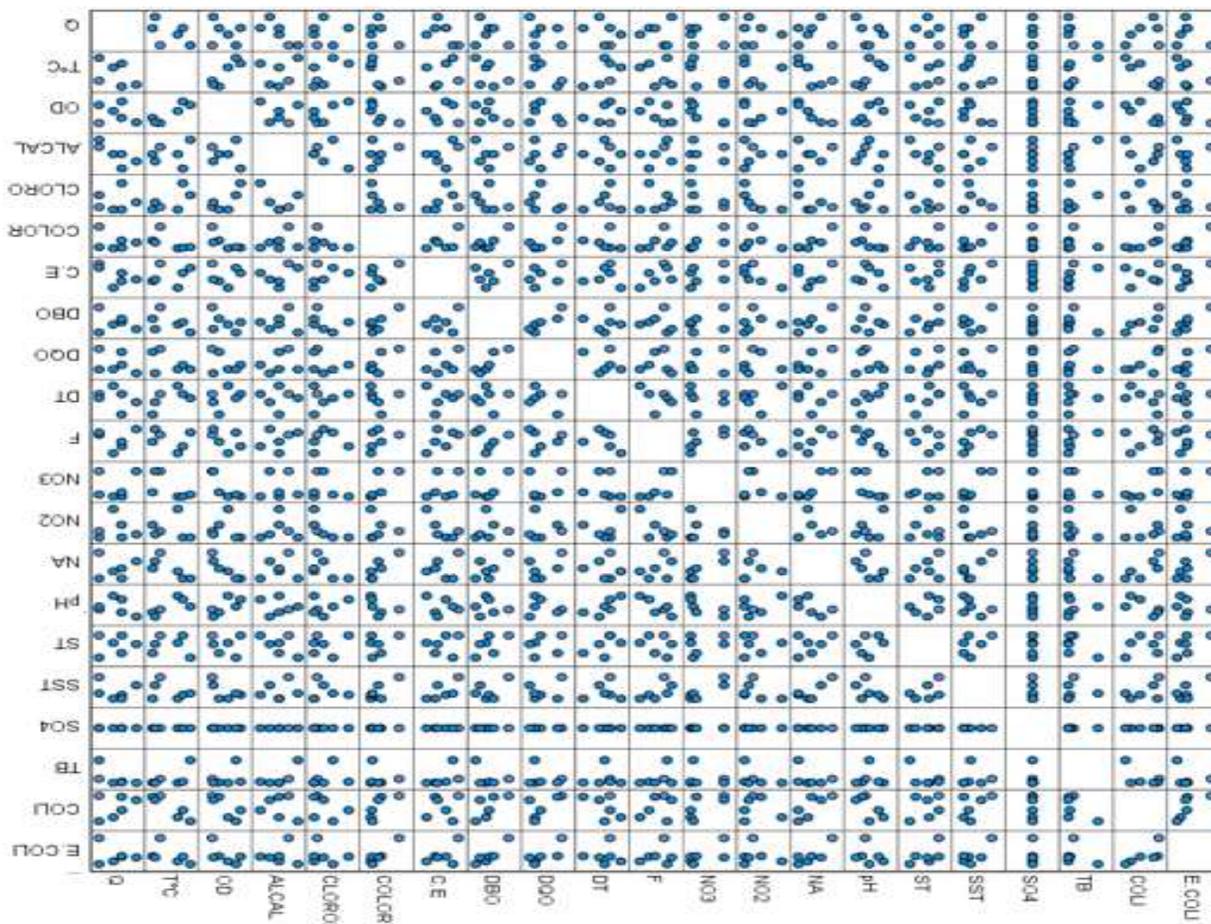


Figura 39. Diagrama de dispersión matricial por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UFPSO

Nota. En la gráfica de dispersión matricial evalúa la relación de 18 variables fisicoquímicas (T°, OD, Alcalinidad, Cloro libre, Color real, C.e, DBO, DQO, Dureza total, Fluoruros, No3 No2, Nitrógeno amoniacal, pH, Solidos totales, solidos suspendidos totales, sulfatos y turbiedad); 2 variables microbiológicas (coliformes totales y E. coli) y los Valores de caudal encontradas en tres estaciones durante dos periodos de muestreo (más lluvias y menos Lluvias). Ésta se utiliza cuando se necesite representar más variables, analizándola por pares. Los puntos azules corresponden a la relación entre una variable y otra. Teniendo en cuenta que la relación lineal positiva entre dos variables X y Y significa que las dos variables crecen de forma parecida. Una relación lineal negativa significa que los valores de ambas varían al revés. Cuando la posición de los puntos en el plano es aleatoria, la correlación es nula.
*Q. variable no valora por el laboratorio

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

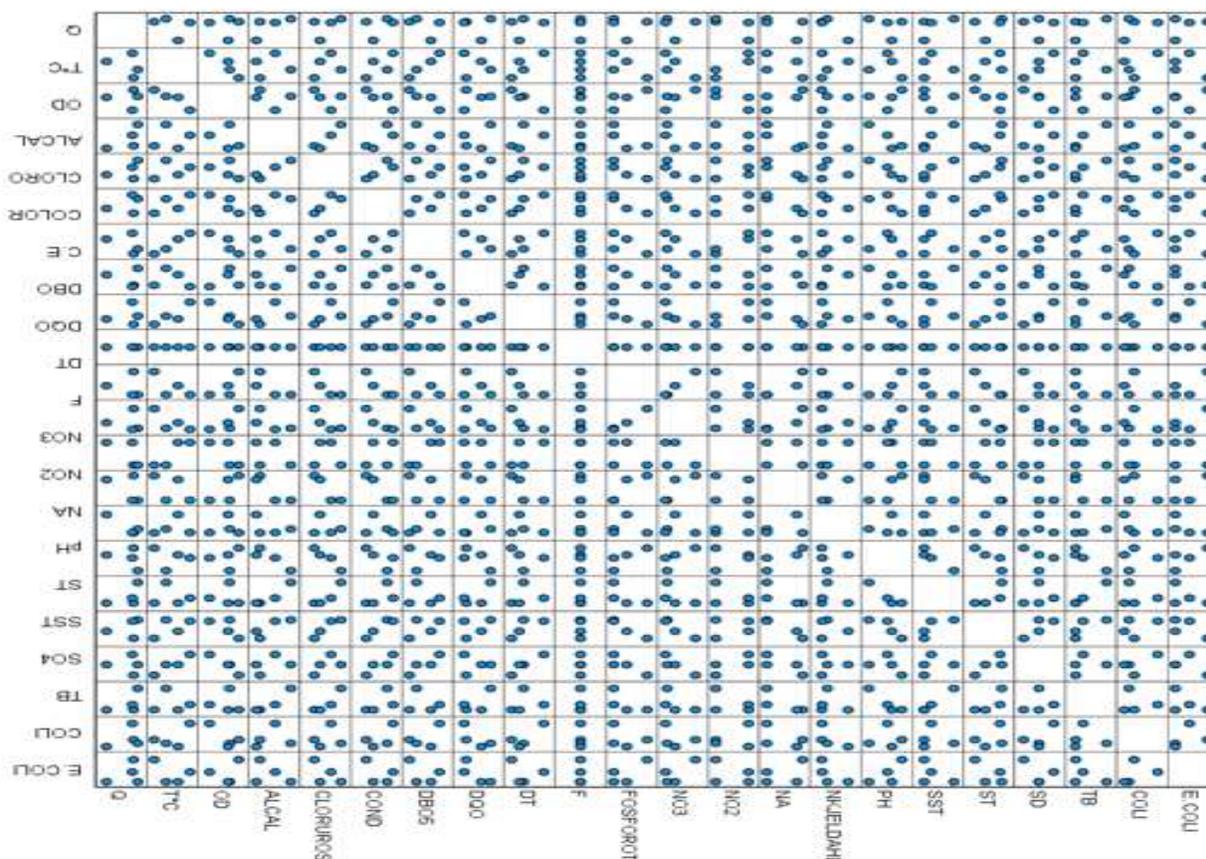


Figura 40. Diagrama de dispersión matricial por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UPB.

Nota. En la gráfica de dispersión matricial evalúa la relación de 18 variables fisicoquímicas (T°, OD, Alcalinidad, Cloro libre, Color real, C.e, DBO, DQO, Dureza total, Fluoruros, No3 No2, Nitrógeno amoniacal, pH, Solidos totales, solidos suspendidos totales, sulfatos y turbiedad); 2 variables microbiológicas (coliformes totales y E. coli) y los Valores de caudal encontradas en tres estaciones durante dos periodos de muestreo (más lluvias y menos Lluvias). Ésta se utiliza cuando se necesite representar más variables, analizándola por pares. Los puntos azules corresponden a la relación entre una variable y otra. Teniendo en cuenta que la relación lineal positiva entre dos variables X y Y significa que las dos variables crecen de forma parecida. Una relación lineal negativa significa que los valores de ambas varían al revés. Cuando la posición de los puntos en el plano es aleatoria, la correlación es nula. *Q. variable no valorada por el laboratorio

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Las figuras (39 y 40) correspondientes a los apéndices (J y K) respectivamente presentan información completa sobre el comportamiento entre dos variables X y Y; generada por el programa de cómputo SPSS, que relaciona pares de variables entre sí. De esta manera se puede observar como en la primera columna de la izquierda se indica cada una de las variables

estudiadas, las cuales se repiten nuevamente en la primera fila del cuadro. Y con esto, resulta conveniente decidir cuáles variables se van a correlacionar entre sí y así analizar los datos del análisis estadístico que nos genera el programa de cómputo; que para el caso por temas de confiabilidad analizaremos las variables valoradas por el laboratorio de la UPB; teniendo en cuenta que las variables valoradas por el laboratorio de la UFPSO siguen un comportamiento muy similar. Cada par de variables correlacionadas por el programa, nos brinda dos datos numéricos dentro de la celda correspondiente, en relación con el coeficiente de correlación de Pearson (ρ) y el nivel de significancia “p”, el cual se compara con el valor de $\alpha = 0,05$.

En el comportamiento de la figura 40; evidenciado en el apéndice K que corresponden a variables valoradas por el laboratorio de la UPB. Se puede observar que existe correlación significativa (“p” igual o menor que 0,05) entre los siguientes pares de variables: OD-dureza total, OD-ST, SST-turbiedad, C.E.-nitrógeno amoniacal, C.E.-ST, pH-cloruro, pH-SST; La correlación que se establece entre las variables OD, SST, DQO, C.E., pH y las demás variables que la componen como lo son (Dureza total, ST, turbiedad, nitrógeno amoniacal, cloruro) es predecible, ya que esas variables independientes son las mismas que se utilizan por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM para el cálculo de la calidad del agua. Cada una de ellas influye en la clasificación del Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). También es importante mencionar que, aunque, en el presente estudio estadístico, no se establece correlación entre el parámetro “calidad (ICA)” y la precipitación pluvial (mm), ni con el caudal de la quebrada; teniendo en cuenta la falta de antecedentes sobre precipitaciones en el área de estudio, Se esperaría que, a mayor precipitación pluvial, aumentaría el caudal de la quebrada lo cual causaría una dilución significativa de diferentes contaminantes presentes en el cuerpo de agua, mejorando su

calidad. Sin embargo, resulta importante mencionar que *la correlación de estas dos variables con el resto de las otras variables no esclarece el efecto que ejercen sobre la calidad de las quebradas según lo dicta* (Calvo Brenes & Mora Molina, 2006). Para este caso debido a las características del terreno aledaño a las quebrada cundina y su tributario, es posible que las lluvias leves; así como la gran presencia de rápidos y altas pendientes durante su trayecto si ayuden a diluir los contaminantes presentes en la quebrada citada anteriormente, mejorando así su calidad, pero lo que si es cierto según el comportamiento evidenciado en los índices de calidad y contaminación (ICA y ICOs) respectivamente; es que la presencia de lluvias mayores pueden empeorar o alterar el comportamiento de su calidad debido a la introducción de una mayor carga contaminante en la quebrada, producto de la erosión de los suelos pertenecientes a la vereda san cayetano sujetos a diferentes tipos de intervención antrópica. Aclarando además que luego de que dichos contaminantes llegan a los presentes cuerpos hídricos; en algunos casos la época de más o menos lluvias pueden ayudar a disminuir o aumentar la concentración del contaminante en el agua del cuerpo hídrico conforme avanza el tiempo, así como se muestra en la figura 28 y 33 citadas en párrafos anteriores; para los índices de calidad y contaminación (ICA y ICOs) respectivamente.

En donde se muestra como durante la época de menos y más lluvias se mantuvieron los índices (ISST, INT/PT, IC.E., IpH, ICOMI y el ICOpH) y mejoraron los índices (IDQO, IOD, ICOMO y el ICOSUS) para los índices de calidad y contaminación (ICA y ICOs) respectivamente. Lo que nos da a entender que no se podría decir que la presencia de estos dos (2) periodos (menos lluvias y más lluvias) empeoraron los índices que fueron valorados, evaluados y citados anteriormente; si no que por el contrario se podría decir que si provocaron un cierto grado de alteración y comportamiento positivo con el pasar del tiempo sobre las

características fisicoquímicas de la microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Al verificar las posibles correlaciones que podían existir entre variables independientes entre sí y que para el caso no fueron sometidas a valoración por falta de antecedentes sobre la precipitación pluvial en el área de estudio; como ya fue mencionado en los párrafos anteriores, se hizo una relación de manera teórica en la que según varios autores coinciden en que hay correlación estadísticamente significativa entre caudal-precipitación pluvial, y para nuestro caso una relación entre pH-ST, Ph-cloruro, Temperatura-OD, Temperatura- SD; al interpretar el coeficiente de correlación de Pearson, se observa que al aumentar la precipitación pluvial se da un aumento también en el caudal y con esto al verificar nos encontramos con que al aumentar la temperatura del agua de la microcuenca aumenta también el OD y al disminuir la temperatura disminuye consigo el OD.

Por consiguiente, al analizar la relación entre pares de variables en relación con el OD; sabemos que una disminución en el OD está asociado a otras variables, como lo son un aumento en la clasificación numérica de la calidad de la microcuenca abastecedora (es decir: menor calidad del agua), con esto un aumento en la precipitación pluvial, nos registra un aumento en el caudal, y con ello una disminución en la temperatura y con ello un aumento de SST y a la vez un aumento de la turbiedad en el recurso.

El DBO es un parámetro no contemplado por el por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM para el cálculo de la calidad del agua, pero se relaciona estrechamente con el DQO. Ambos son parámetros asociados a la calidad de las aguas: valores altos en cualquiera de estos parámetros implica baja calidad de los cuerpos de agua. El apéndice K muestra que un incremento en el DBO está asociado con un incremento en la turbiedad pero más allá de un cierto grado de turbiedad se asemeja también dentro de un

tipo de agua superficial con un incremento en la densidad poblacional de la parte alta en la que se registró el valor de la DBO; lo que quiere decir que al evaluar y correlacionar dentro del SPSS a la densidad poblacional del sistema complejo de la microcuenca objeto de estudio con la DBO nos arrojaría una correlación estadística significativa, es decir que un mayor valor numérico de la calidad del agua (nos registraría menor calidad); como lo ha sido el valor obtenido del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO); el cual se evalúa con el ICATEST v1.0 mediante la relación de variables correspondientes precisamente a la DBO, coliformes totales y el OD. El DBO se correlaciona en nuestro caso únicamente con la temperatura.

Teniendo en cuenta, además como puede observar que existe correlación significativa (“p” igual o menor que 0,05) entre los siguientes pares de variables: Alcalinidad-cloruros, alcalinidad- SST, alcalinidad- turbiedad, dureza total- OD y dureza- SD; La correlación que se establece entre las variables alcalinidad, dureza total a excepción de la temperatura, OD, DBO, que ya fueron mencionadas anteriormente y las demás variables que la componen como lo son (cloruros, SST, turbiedad, OD y SD) es predecible, ya que esas variables independientes son las mismas que se utilizan en el Capítulo III. Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de Importancia mundial. Del libro Índices de Calidad y Contaminación del agua. Por Fernández Parada y Fredy, (2005) para el cálculo de los índices de contaminación (ICOs) del agua de la Microcuenca abastecedora quebrada cundina. Cada una de ellas influye en la clasificación del Índice de contaminación (ICOs) del agua en corrientes superficiales.

Por otro lado para nuestro caso al verificar una parte del resto de variables que presentarán correlación estadística significativa entre ellas (fosforo total-NO₃, fosforo total-ST, nitrógeno amoniacal-cloruro y nitrógeno amoniacal-ST) y otras que definitivamente no

presentarón una correlación estadística significativa encontrando una disminución del pH de la microcuencuena abastecedora cuando aumentaba el caudal y un aumento del pH cuando disminuía el caudal y al igual ocurría cuando con la relación entre Q-OD; correlación que resultado poco significativa ya que en la teoría al registrar un aumento en el caudal implica un aumento en el OD y por lo tanto una disminución en el pH.

4.8. Resumen del Estado de Calidad Del Agua Actual Evaluada En tres Tramos De la microcuencuena abastecedora quebrada cundina

El Dendograma con el análisis clúster basado en el índice Jaccard que se cita a continuación en la figura 31; expone con mayor claridad la discusión sostenida en el apartado del índice de contaminación biótica (ICOBIO), ya que evalúa la similitud o disimilitud presentes para el caso entre las estaciones (E1, E2 y E3) y los periodos estacionales de (Menos y Más lluvias) durante los cuatro (4) muestreos que fueron realizados en la microcuencuena abastecedora quebrada cundina.

El clúster de la estación (E3) indica que tienden a mantener mayor similitud de calidad de agua entre los periodos de (más lluvias), basado en la estructura de grupos de macro invertebrados bentónicos respecto a las demás estaciones. Seguidamente, aparece el clúster entre periodos de (más lluvia y menos lluvia) de la (E1) donde la organización ecológica de la comunidad de bioindicadores acuáticos evaluados demuestra que la zona de confluencia de la microcuencuena abastecedora quebrada cundina si logra hacer remoción de parte de la carga orgánica que se presenta en la (E2).

La Naturaleza de la contaminación del agua entre las estaciones (E1 y E2) produce efectos similares sobre la comunidad de macro invertebrados bentónicos, que la naturaleza de la contaminación en la estación (E1). El clúster final (Jaccard=0,225) revela que la estación

(E2) es la más diferente a las estaciones (E1 y E3).

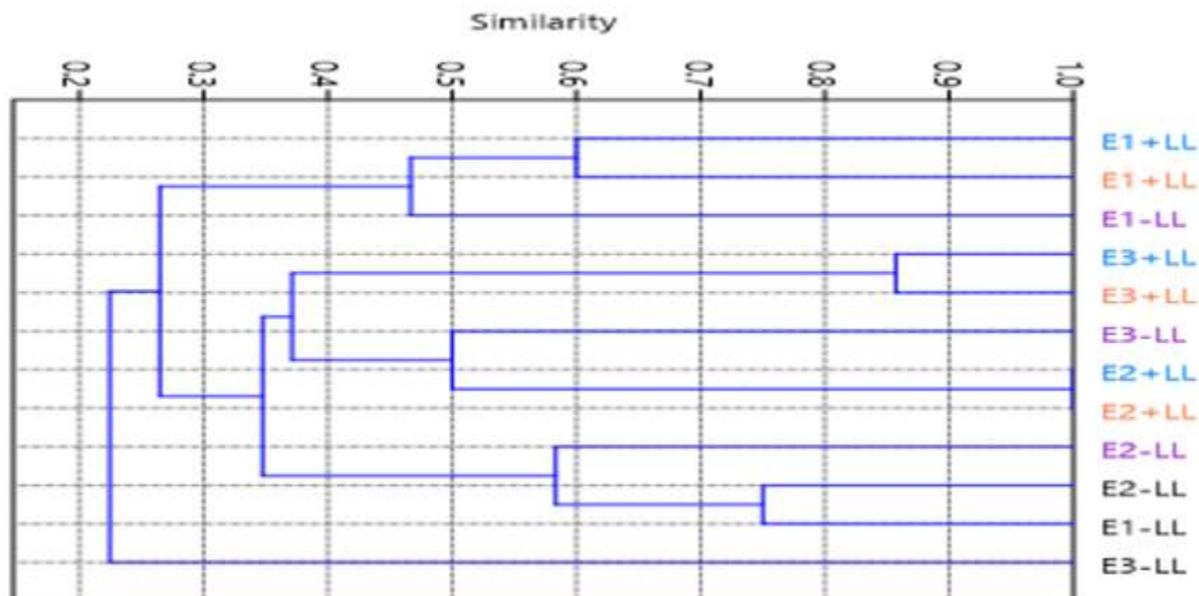


Figura 41. Dendrograma de similitud entre estaciones y periodos de muestreos en la microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021

En términos de calidad del Agua por el ICA los resultados fisicoquímicos y microbiológicos mostrarán diferencias significativas en la calidad del agua como Regular con una señal de alerta de color amarillo que según Sierra Ramírez, C. A.,(2011); Significa que se trata de un Recurso hídrico regularmente contaminado (Agua regularmente contaminada) en donde la estación de menor a mayor orden de calidad durante los periodos de (menos y más lluvias) corresponden Al orden (E3, E1 y E2) evaluados para el (primer y segundo) muestreo con valores de (0,685 ; 0,696 y 0,701) respectivamente; mientras que para el orden (E3, E1 y E2) evaluados para el (tercer y cuarto) muestreo con valores de (0,694 ; 0,749 y NAP) respectivamente; encontrando así un recurso hídrico (Regular y Aceptable) con una señal de alerta de color (amarillo y verde) que según Sierra Ramírez, C. A.,(2011); Significa que se trata de un Recurso hídrico (regularmente contaminado: Agua regularmente contaminada) y

levemente contaminado: Agua buena calidad). Por otro lado para índices de contaminación (ICOs), Los resultados fisicoquímicos y microbiológicos mostrarán diferencias significativas en la contaminación por exceso de materia orgánica (ICOMO); encontrando alta contaminación en las estaciones (E1, E2 y E3) durante el (primer y segundo) muestreo correspondientes a los periodos de (menos y más lluvias) respectivamente, una contaminación media en la estación (E3) durante el tercer muestreo en periodo de (más lluvia) y una contaminación baja-alta para las estaciones (E1-E3) respectivamente durante el cuarto muestreo nuevamente en periodo de (menos lluvia).

Sin embargo, los resultados biológicos si detectarán variaciones de calidad del agua significativas entre periodos de estudios; En este sentido, la Estación (E1: Punto Zona de confluencia - E3: Punto Quebrada San Cayetano (560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia) son las que presentarán mejor calidad (aceptable) durante los cuatro muestreos con valores de (6.6-6.7) respectivamente según el aponderado ASPT de la BMWP/col Asigna 78 puntos, el mayor puntaje encontrado entre las estaciones (Ver tabla 51). Seguidamente, la estación (E2) Punto Quebrada Cundina (100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia presentó una calidad del agua más baja (Dudosa) con 5.6 puntos según el aponderado ASPT de la BMWP/col. No obstante, el Dendrograma citado anteriormente en la figura 41 de similitud de taxones identificados entre estaciones, aclara que la concentración y naturaleza de los contaminantes es más diversa en la estación (E2) que en la estación (E3). Posiblemente por el desarrollo de procesos de carácter natural; como lo es la descomposición de una densa capa vegetal presente a lo largo de esta denso territorio de reserva forestal, aunque no se descarta la presencia de Aguas con contenido de residuos domésticos, residuos de actividades agrícolas sin ningún tipo de tratamiento que se desarrollen quizás de manera clandestina a pequeña

escala aguas arriba de la presente estación; es decir: que todos los factores de contaminación enunciados anteriormente se introducen en el cuerpo de agua antes de llegar a la estación (E2) y parece que los periodos de más lluvias, con mayores niveles de caudal seguido de la fuerte presencia de rápidos durante su trayecto, ayudan a disminuir la magnitud del impacto sobre el cuerpo de agua (ver tabla 31 y 33). A la estación (E1) afluye un alto contenido de carga orgánica proveniente de la estación (E2) de la microcuenca abastecedora que ya ha removido parte de la carga orgánica aportada en su mayoría por la descomposición de una densa capa vegetal, no se descarta la presencia de Aguas con contenido de residuos domésticos, residuos de actividades agrícolas sin ningún tipo de tratamiento que se desarrollen quizás de manera clandestina a pequeña escala aguas arriba de la presente estación; en la parte alta por donde llega la fuente hídrica de la quebrada cundina.

Siguiendo el mismo orden de ideas, tenemos que la Estación (E2) que se encuentra ubicadas aguas arriba de la fuerte presión por carga orgánica que ofrece la quebrada cundina; la cual presentó peor calidad del agua, Ya que el análisis clúster revela que esta estación (E2) presentó mayor disimilitud de taxones que las estaciones (E1 y E3) durante los cuatro (4) muestreos. De manera individual, el aponderado ASPT del Índice BMWP/col (ver tabla 51) determinó un puntaje de 6.6 sin salirde clase III (calidad del agua Dudosa)para la Estación (E2) demostrando que las concentraciones de contaminantes evaluadas en los resultados del análisis fisicoquímicos y microbiológicos (ver tabla 31 y 33) tienden a ser mayores en temporadas de más y menos lluvias con respecto a las demás estaciones (E1 y E3), donde el cauce ha iniciado un proceso de auto recuperación natural y se encontraron más familias bioindicadoras.

Conclusiones

Los resultados de caudales evaluados y analizados en las estaciones E1: Punto Zona de confluencia (Entre la Quebrada cundina y la Quebrada san cayetano), E2: Punto Quebrada Cundina ((100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia) y E3: Punto Quebrada San Cayetano ((560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia) durante los periodos de más y menos lluvias estuvieron por encima de los registros mínimos obtenidos por (Corpocesar, 2016) . Indicando que las condiciones hidráulicas de la microcuenca abastecedora quebrada cundina se vieron afectadas directamente por los efectos colaterales persistentes del fenómeno de variabilidad climática de carácter atípico sobre lo que son las fuentes hídricas superficiales en el cesar. Estas condiciones se prevén restringieron el desarrollo biológico de macroinvertebrados acuáticos principalmente en las estaciones con mayor caudal; primero en la estación (E2) y luego en menor medida también para la estación (E1), al mismo tiempo, son las más afectadas debido no solo a las fuertes corrientes o arrastres sino también a los focos de contaminación de carácter natural y antrópico que se evidencian en el área de estudio respectivamente.

El análisis de la gran mayoría de las variables Fisicoquímicas y Microbiológicas estudiadas registrarón un comportamiento estable entre los dos (2) periodos de estudio (menos y más lluvias) y las tres (3) estaciones de monitoreo. Sin embargo, se evidenciarón resultados inferiores en temporada de más lluvias para el (segundo y cuarto) muestreo por la dilución natural de contaminantes que se produce por el incremento en los niveles de caudal y la fuerte presencia de rápidos durante su trayectoria. Con esto se logró evidenciar que las variables (Alcalinidad, dureza total, conductividad, nitratos, nitritos, cloruros, sulfatos y solidos totales) están

cumpliendo y las variables (Turbiedad, pH, Coliformes Totales, E.coli) no están cumpliendo con los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo II de la Resolución 2115 de 2007 “Características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”.

EL análisis de los índices de calidad y contaminación (ICA y ICOs) durante los periodos evaluados muestran cómo se mantuvieron los índices (ISST, INT/PT, IC.E., IpH, ICOMI y el ICOpH) y lograron mejorar los índices (IDQO, IOD, ICOMO y el ICOSUS) respectivamente. Lo que nos da a entender que no se podría decir que la presencia de estos dos (2) periodos (menos lluvias y más lluvias) empeoraron los índices que fueron valorados, evaluados y citados anteriormente; si no que por el contrario se podría decir que si provocaron un cierto grado de alteración y comportamiento positivo con el pasar del tiempo sobre las características fisicoquímicas de la microcuenca abastecedora quebrada cundina.

Los índices de calidad del Agua (ICA) propuestos por el IDEAM, 2011 mostrarán diferencias significativas en la calidad del agua como Regular con una señal de alerta de color amarillo que según Sierra Ramírez, C. A.,(2011); Significa que se trata de un Recurso hídrico regularmente contaminado (Agua regularmente contaminada) en donde la estación de menor a mayor orden de calidad durante los periodos evaluados corresponden al orden (E3, E1 y E2) evaluados para el (primer y segundo) muestreo con valores de (0,685 ; 0,696 y 0,701) al igual que para el (tercer y cuarto) muestreo con valores de (0,694 ; 0,749 y NAP); encontrando así un recurso hídrico (Regular y Aceptable) con una señal de alerta de color (amarillo y verde). Todo esto debido quizás a que continuaba de manera extensa la temporada de lluvias; lo que ayudó en definitiva en la medida de que iban frecuentando las lluvias; esta preciada fuente hídrica logró atravesar de su estado de deterioro hacia uno de estabilidad para luego ir

posicionándose por si sola en un estado de recuperación.

Los Índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1998-1999) mostraron que no existe “ninguna contaminación” (buena calidad del agua) por Mineralización (ICOMI), por eutrofización y cambios bruscos en el pH del agua (ICOpH) en todas las estaciones monitoreadas durante los dos periodos de estudio. Pero si se encontraron diferencias significativas en la contaminación por exceso de materia orgánica (ICOMO); encontrando alta contaminación en las estaciones (E1, E2 y E3) durante el (primer y segundo) muestreo correspondientes a los periodos de (menos y más lluvias) respectivamente, una contaminación media en la estación (E3) durante el tercer muestreo en periodo de (más lluvia) y una contaminación baja-alta para las estaciones (E1-E3) respectivamente durante el cuarto muestreo nuevamente en periodo de (menos lluvia). Estos comportamientos indican que las condiciones fisicoquímicas que se dan en la lámina de agua son adecuadas para el establecimiento y desarrollo de la biota acuática.

Además, algunos de los parámetros fisicoquímicos como (Turbiedad y pH) y microbiológicos como (Coliformes totales y E. coli) estuvieron por encima de los valores máximos permitidos en el capítulo IV del Decreto 1594/84 sobre “Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano” e indican que la fuente de agua es apta para un tratamiento convencional de potabilización. Sin embargo, con base en lo expresado en el artículo 40,41,42 y 43 del mismo decreto y los resultados obtenidos del análisis, la microcuenca abastecedora quebrada cundina no presentan restricción para la destinación del recurso para uso agrícola, para uso pecuario ni para fines recreativos mediante contacto secundario; pero si presenta restricciones para fines recreativos de contacto primario.

Los resultados del Índice BMWP/col mediante su aponderado ASPT dejaron bajo

descubierto factores de contaminación que se encontraban ocultos por los resultados fisicoquímicos evaluados. En donde la calidad del agua presente en la microcuenca abastecedora quebrada cundina osciló entre la clase II “Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación” (Aguas de Calidad Aceptable) y clase III “Aguas moderadamente contaminadas” (Aguas de calidad Dudosa); Encontrando además en las estaciones (E1 y E3) la especie *Hidrophilidae* (Larvas) que es una familia de macroinvertebrados encargada de asimilar mayor cantidad de contaminantes. Este comportamiento demostró que los diferentes grados de intervención por actividades de tipo antrópico y natural, que circundan afectan la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos presentes en las estaciones monitoreadas de la microcuenca abastecedora quebrada cundina; en estos momentos se encuentran en una etapa de resiliencia (siguiendo un patrón de autorrecuperación aguas arriba de los focos de contaminación) y poseen algunos nichos complejos de relaciones ecológicas que le permiten ofrecer una resistencia frente a los diferentes agentes de contaminación descritos anteriormente en la investigación.

El índice de Contaminación Biótico (ICOBIO) presentó una relación Media en el nivel de afectación sobre las comunidades de macroinvertebrados entre las estaciones. (E1: Punto Zona de confluencia Entre la Quebrada cundina y la Quebrada san cayetano - la E2: Punto Quebrada Cundina (100) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia- E3: Punto Quebrada San Cayetano ((560) metros aguas arriba de la Zona de Confluencia) para los periodos de (más y menos lluvias). Los resultados permiten concluir que al variar las condiciones ambientales del medio natural como lo son (las fuentes de contaminación, Naturaleza, concentración del contaminante y la capacidad de respuesta de los ecosistemas) hacia un medio acuático son muy pocas las familias de macroinvertebrados resistentes que se adaptan a los cambios y

logran sobrevivir en el mismo medio. Por tanto, Cuando se presenta una relación media de contaminación entre estaciones y periodos de monitoreo hacen que un sistema convencional de tratamiento para la potabilización del agua destinada al consumo humano logre eliminar el riesgo asociado por factores atípicos de contaminación que se puedan presentar de forma repentina durante una época o periodo de tiempo determinado; al igual que ocurre cuando se mejora la calidad del agua para que el recurso pueda ser destinado para cualquiera de los usos presentes en el Decreto 1594 de 1984.

Los índices biológicos implementados durante la presente investigación: BMWP/Col con su ponderado ASPT y el ICOBIO representan una herramienta útil y eficaz dentro de cualquier estudio relacionado con una fuente superficial para lo que es el diagnóstico de la calidad ecológica del agua; son métodos rápidos y no repercuten en grandes costos. No es necesario de personal altamente especializado para su ejecución e implementación, puesto que los macroinvertebrados resultan ser fáciles de coleccionar y a la vez de identificar taxonómicamente.

Se requiere un estudio más detallado y profundo que permita determinar en qué medida las concentraciones de plaguicidas generan alteraciones a la calidad del agua y a la salud pública de los habitantes del municipio y la vereda que se abastecen de la presente fuente hídrica. Por lo pronto no se puede realizar ningún tipo de afirmación.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con una segunda etapa en la investigación donde se puedan llegar a definir los objetivos de calidad del agua con base a los resultados obtenidos en el diagnóstico actual. El propósito fundamental consistiría en orientar la gestión del recurso hídrico hacia la clase de quebrada que se desea tener. A modo de ejemplo, en el caso presentado por esta investigación, se puede establecer que en los próximos cinco (5) años todos los tramos evaluados (2,3 km) con los “índices de calidad (ICA) del (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2011) y los índices de contaminación (ICOs) de Ramírez y Viña (1999)” deberán estar máximo en “clase IV (aceptable) y clase II (baja contaminación)” respectivamente y en los próximos 5 años (segundo quinquenio) deberán permanecer en la “clase V (Buena) y clase I (Ninguna Contaminación)” respectivamente en donde sea posible ya no evidenciar ningún tipo contaminación en el agua.

Con base a los resultados de esta primera investigación resultaría oportuno poder realizar una evaluación del recurso hídrico una vez es sometida a un proceso de potabilización para así analizar qué tipo de agua está consumiendo la comunidad referente al municipio de González cesar; por ello resulta importante que las autoridades competentes tengan como insumo este otro resultado para la toma decisiones basadas en como poder llegar a mejorar el proceso de potabilización del acueducto presente en el municipio.

Es importante además que se pueda continuar con el monitoreo de calidad del recurso hídrico presente en la microcuenca abastecedora quebrada cundina por cuanto se evidenció que los criterios de calidad pueden cambiar incluso por causa de un gran sin número de factores entre estaciones y periodos de muestreo de (más lluvias y menos lluvias) por causa de un gran sin número de factores. De este modo al contar por parte del municipio con un informe veraz y

completo de antecedentes, se puede evaluar la efectividad de los planes de prevención y mejoramiento de las condiciones ambientales gestionadas en la zona por las Autoridades ambientales y demás Autoridades competentes del municipio de González y el departamento del Cesar.

Este estudio se convierte en una alerta temprana, debido que los resultados permiten visualizar que las condiciones ecológicas de las aguas pertenecientes a la quebrada Cundina pueden entrar en un momento determinado en un estado crítico de conservación, a la medida misma de que no se tomen acciones concretas a corto plazo para la conservación del recurso hídrico dentro de esta importante microcuenca abastecedora; por lo que se debe emprender campañas de sensibilización para la protección sustentable y mantenimiento de la integridad ecológica de los recursos naturales del que depende la comunidad del municipio de González y otras regiones asentadas a lo largo de la cuenca del Catatumbo.

Se recomienda a las autoridades competentes que tienen facultad y poder de gestión para la toma de decisiones en lo que concierne a la gestión de calidad del recurso hídrico a nivel local y regional tomar decisiones oportunas ante la restricción para fines recreativos mediante contacto primario que presenta la quebrada Cundina debido a la carga microbiológica contaminante. Realizar la debida gestión institucional y comunitaria a fin de establecer una red de monitoreo que permita la evaluación periódica de criterios de calidad y oferta superficial en quebrada Cundina desde el nacimiento hasta aguas arriba de la bocatoma.

Se recomienda continuar con una segunda fase de investigación con un equipo interdisciplinar apoyado del concepto profesional médico que permita evaluar en el agua los impactos generados por los escurrimientos de agroquímicos en la salud pública del municipio y la zona veredal que se abastece de esta fuente, Ya que el organismo acumula estas trazas en las

células grasas causando repercusiones en la salud a mediano y largo plazo. Y luego si las autoridades competentes puedan realizar un trabajo con las comunidades campesinas para que se logre concientizar en cuanto a los impactos generados al agua, el suelo y el ambiente en general por el uso indiscriminado de agro químicos luego de que se haga esa segunda fase de investigación.

Es necesario que la autoridad ambiental competente desempeñe sus funciones de control y vigilancia en cuanto a la deforestación en la microcuenca, usos productivos inadecuados en los suelos, captaciones ilegales y extracción ilegal de material de arrastre que al final delimitan el proceso natural de autodepuración en la quebrada cundina.

Promover en el nivel local la implementación de estrategias de sistemas agrícolas orgánicos con enfoque agroecológico de manera tal que se logre un proceso de reconversión en la producción agropecuaria de la presente comunidad veredal

Es imprescindible la divulgación masiva de los resultados y el alcance mismo obtenido en esta investigación. No solo porque se logró desarrollar un concepto de la calidad actual de la microcuenca abastecedora quebrada cundina con su respectiva integralidad, sino también porque ofrece una visión más global de estado actual de los ecosistemas acuáticos de las fuentes superficiales de Colombia al interior del cauce y la sinergia misma con sus procesos de contaminación; todo esto útil para poder llegar a entender la capacidad de resistencia y de autorrecuperación de la dinámica natural ante eventos no deseados y posibles emergencias de carácter ambiental. y además también porque esta fuente hídrica hace parte del rio algodonal la cual fue priorizada y categorizada por su importancia ambiental y valor ecosistémico bajo el código 1605 por el IDEAM, 2004.

Promover e incentivar a la comunidad universitaria del programa ingeniería ambiental y demás programas afines a proponer y desarrollar investigaciones académicas más detalladas y orientadas hacia la evaluación de la calidad del agua de las principales corrientes hídricas y tributarios de tipo superficial presentes en los alrededores de la microcuenca abastecedora quebrada cundina y la cuenca del río algodonal que hacen parte del medio en que nos desarrollamos como organización; Todo esto mediante la aplicación de índices de calidad, índices de contaminación e índices bióticos, Que logren procurar más que llegar a emitir un simple valor de calidad, desagregar los tipos de contaminación presentes en el tiempo y espacio en las fuentes naturales que componen a un territorio de agua. Desde la academia promover el proceso de investigación y extensión que permiten la transferencia de tecnología con Innovación para la gestión del recurso hídrico y transferencia de tecnología a los procesos productivos.

Para la identificación y obtención de la taxonomía de los macroinvertebrados recolectados mediante un muestreo determinado, es recomendable utilizar claves dicotómicas, para saber cómo diferenciarlos de su estructura, hábitat, puntuación trófica a nivel de familia y la importancia de bioindicación que tienen dentro del mundo acuático.

Como la presente microcuenca quedo por fuera del POMCA del río algodonal es necesario una articulación entre la autoridad ambiental competente, la administración municipal y la comunidad para liderar la reglamentación, el ordenamiento hídrico y luego si coordinar un plan de manejo ambiental para garantizar la oferta hídrica, la calidad, la protección y conservación de estos puntos claves dentro de la microcuenca.

Referencias

- Arrellano días., j. & guzmán pantoja, j.e (2011). Alfaomega. Ingeniería ambiental. Recuperado el 11 del 12 de 2020, de <https://www.auditorlider.com/wp-content/uploads/2019/07/ingenieria-ambiental-arellano.pdf>
- Calvo brenes, g., & mora molina, j. (20 de 11 de 2006). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del rio tárcoles y el reventazón. (r. Dialnet, ed.) Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835584>
- Corpocesar. (11 de 02 de 2016). Así están los caudales de los ríos en el cesar, por la sequía. Obtenido de por ubaldo anaya flórez: <https://www.rptnoticias.com/2016/02/11/asi-estan-los-caudales-de-los-rios-en-el-cesar-por-la-sequia/>
- Decreto 1594 de 1984 – usos de agua y residuos líquidos. (1984). Criterios de calidad del agua. Obtenido de uso para consumo humano: <http://www.estrategiaambiental.com/normatividad/agua/decreto-3930-de-2010-usos-del-recurso-hidrico-y-vertimientos/decreto-1594-de-1984-usos-de-agua-y-residuos-liquidos/>
- Duque, a., & baena, l. (2007). 37. Metodología para la adaptación de un índice de calidad del agua a las condiciones medioambientales del río cauca en el tramo salvajina-el virginia. Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio, 391. recuperado el 30 del 09 de 2020, de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=vpfqgpfhbmvc&oi=fnd&pg=pa391&dq=metodologia+condiciones+medioambientales+rio+cauca+el+tramo+salvajina-la+virginia&ots=m3wstn4wye&sig=y-szkn_9easz8u9i653zml8zha#v=onepage&q=metodologia%20condiciones%20medioambientales%20rio%20cauca%20el%20tramo%20salvajina-la%20virginia&f=false

Díaz bautista, w. T. (2017). Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de tena en el departamento de Cundinamarca. recuperado el 13 de 09 de 2020, de http://repository.ucatolica.edu.co:8080/bitstream/10983/14490/1/trabajo_21.pdf

Fernández parada, n. J., & solano ortega, f. (11 de 11 de 2005). Vicerrectoría de investigaciones. Obtenido de software herramienta para la valoración de la calidad del agua: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIig/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp

Fernández, d. G., mancipe, l. C., & fernández, d. C. (2010). Organophosphorus poisoning. *Revista med*, 18(1), 84-92. Recuperado el 31 del 10 de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0121-52562010000100009

Gamboa, m., reyes, r., & arrivillaga, j. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de malariología y salud ambiental*, 48(2), 109-120. Recuperado el 11 del 10 de 2020, de https://www.researchgate.net/profile/rosa_reyes_gil/publication/239586192_macroinvertebrados_bentonicos_como_bioindicadores_de_salud_ambiental/links/53fc5fe40cf2dca8ffff165f/macroinvertebrados-bentonicos-como-bioindicadores-de-salud-ambiental.pdf

Guinard, j. D. C., ríos, t., & vega, j. A. B. (2013). Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río gariché, provincia de chiriquí, panamá. *Gestión y ambiente*, 16(2), 61-70. Recuperado el 11 del 12 de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169428420005.pdf>

Gómez duque, a. S. (2013). Evaluación de la calidad ecológica del agua usando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media de la cuenca del río felidia, valle del cauca-colombia. Universidad autónoma de occidente, valle. Santiago de cali: programa editorial

del departamento de ciencias ambientales. Recuperado el 11 del 10 de 2020, de

[https://silo.tips/download/indicadores- biológicos-de-calidad-del-agua](https://silo.tips/download/indicadores-biológicos-de-calidad-del-agua)

Gómez, m. J., & cáceres, j. L. (2010). Toxicidad por insecticidas organofosforados en fumigadores de campaña contra el dengue, estado aragua, venezuela, año 2008. Boletín de malariología y salud ambiental, 50(1), 119-125. Recuperado el 31 del 10 de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=s1690-46482010000100012&script=sci_arttext

Hernández Antonio, a., & Hansen, a. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. Revista internacional de contaminación ambiental, 27(2), 115-127. Recuperado el 31 del 10 de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0188-49992011000200003

Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017). Evaluación y valoración de la calidad del agua para consumo humano del río Algodonal entre los municipios de Abrego y Ocaña, norte de Santander. Recuperado el 13 de 09 de 2020, de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/1484>

Hernández López, k. M., & Ramírez Martínez, r. D. (2017). Evaluación y valoración de la calidad del agua para consumo humano del río Algodonal entre los municipios de Abrego y Ocaña, norte de Santander. Recuperado el 20 del 09 de 2020, de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1484/1/29699.pdf>

Herrera Galvis, j., & Hurtado Lugo, n. (2020). Aportes al desarrollo sostenible desde el enfoque de las ciencias agrarias y del ambiente para el nororiente colombiano. Bogotá: Eco Ediciones Limitada.

Herrera Quevedo, c. A., & Poveda Orjuela, m. C. (2016). Evaluación de la red de acueducto y abastecimiento del municipio de Choachí Cundinamarca desde la captación hasta la planta de

potabilización. Recuperado el 20 del 10 de 2020, de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/9513>

Ideam, (2014). Estudio nacional del agua 2014. Recuperado el 31 del 10 de 2020, de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ena_2014.pdf

Ideam,(2015). Informe del estado del medio ambiente y de los recursos naturales renovables 2012, 2013 y 2014 (versión preliminar) recuperado el 31 del 10 de 2020, de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023237/iearn_tercera_parte_calidad_recursos_2014.pdf

Ideam. (2006). Macroinvertebrados acuáticos, determinación taxonómica-conteo. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/macroinvertebrados+acuaticos.pdf/e5730a5b-069f-4400-8d2d-a31d8603a196>

Ideam. (2021). Tiempo y clima. Obtenido de boletín de predicción climática: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/prediccion-climatica?p_p_id=110_instance_ljpljwraqzcm&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&_110_instance_ljpljwraqzcm_struts_action=%2fdocument_library_display%2fview

Ins, (2011).manuel de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio.(grupo salud ambiental “Jaime eduardo ortiz varón”. Recuperado el 10 del 10 de 2020, de <https://www.ins.gov.co/sivicap/documentacin%20sivicap/2011%20manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>

Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - ideam. (10 de 2011). Hoja metodológica del indicador índice de calidad del agua (versión 1,00). Obtenido de sistema de

indicadores ambientales de Colombia - indicadores de calidad del agua superficial. 10 p:

<http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36->

[3.21_hm_indice_calidad_agua_3_fi.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_hm_indice_calidad_agua_3_fi.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031)

Jiménez arenas, k. A. T. E. R. I. N. (2017). Formulación del mapa de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano del corregimiento el hebron jurisdicción del municipio de astrea departamento del cesar (doctoral dissertation). Recuperado el 11 del 10 de 2020, de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1804/1/30814.pdf>

Josué Fernández parada, n., & solano ortega, f. (2005). Índices de calidad y de contaminación del agua (vol. Iii). Pamplona, norte de Santander, colombia: vicerrectoria de investigaciones de la universidad de pamplona. Recuperado el 10 del 10 de 2020 https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIig/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

Jáquez matas, s. V. (2013). Comportamiento de plaguicidas persistentes en el medio ambiente. Recuperado el 31 del 10 de 2020, de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16959/1/comportamiento%20de%20plaguicidas%20persistentes%20en>

Loaiza puerta, e. (2009). Diagnóstico de contaminación de agua en la quebrada camaronera, parque nacional Manuel Antonio, área de conservación pacífico central, minae, costarica. recuperadodeel11del10de2020,de<http://repositorio.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/11294/diagnostico%20de%20contaminacion%20de%20agua%20en%20la%20quebrada%20camaronera%20del%20parque%20manuel%20antonio%20-%20elizabeth%20loaiza.do.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Lozada, p. T., Vélez, c. H. C., & Patiño, p. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes

superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista de ingenierías: universidad de Medellín, 8(15), 3. Recuperado el 29 del 09 de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845739>

Miniambiente.com (2020). Documento web. Marco institucional. Recuperado el 11 del 12 de 2020, de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-internacionales/rio-20/marco-institucional>

Miranda sanguina, r. A., Ramírez Martínez, r. D., Hernández López, k., & Angarita castilla, w. (2019). Evaluación de la calidad del agua río algodonal, tramo abrego-ocaña, norte de Santander. Revista de investigación, 12(1), 45-62. Obtenido de <https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/238salamanca>, e. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. Recuperado el 11 del 10 de 2020, de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2488/tratamiento%20de%20aguas%20para%20el%20consumo%20humano.pdf>

Miranda-sanguino, r. A., Ramírez, r., & Sánchez Ortiz, e. A. (2016). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en el río algodonal. Revista ingenio, 10(1), 131-141. Recuperado el 22 del 09 de 2020, de <http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4099/67201517453-2018%20trabajo%20de%20grado%20miranda%20r.pdf?sequence=2&isallowed=y>

Molina Santiago, j. D., & Castro Suarez, f. A. (2015). Determinación de la calidad del agua mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos en la micro cuenca quebrada la estancia en gonzález, cesar (doctoral dissertation). Recuperado el 22 del 09 de 2020, de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/923>.

Molina-morales, y., flores-garcía, m., balza-quintero, a., Benítez Díaz, p., & miranda-contreras, l. (2012). Niveles de plaguicidas en aguas superficiales de una región agrícola del

estado mérida, Venezuela, entre 2008 y 2010. Revista internacional de contaminación ambiental, 28(4), 289-301. Recuperado el 31 del 10 de 2020, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0188-49992012000400005&script=sci_arttext

Montoya m. Yimmy, a. Y. (14 de abril de 2011). Scielo. Recuperado el 12 de noviembre de 2020, de evolución de la calidad del agua en el río negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ica, el bmwp/col y el aspt:

<http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v33n1/v33n1a12.pdf>

Morante, c. G., & negrete, j. L. M. (2018). Prácticas agrícolas y riesgos a la salud por el uso de plaguicidas en agricultores subregión mojana–colombia. Ríaa, 9(1), 3. Recuperado el 31 del 10 de 2020, de . <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6383794>

Organización mundial de la salud. (14 de octubre de 1997). Guidelines for drinking-water quality, 2nd edition. Volume 3 - surveillance and control of community supplies. Geneva, ginebra,suiza:who.p.5.https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wpcchap2.pdf

Plan de desarrollo municipal 2008-2011. (23 de 02 de 2008). Sistemas de producción agropecuaria. Obtenido de http://upc-aguachica.edu.co/municipios/gonzales/acuerdo_007_31_05_08_plan_de_desarrollo_2008_2011_gonzalez_emprendedor_y_solidario

Plan de desarrollo municipal 2013-2015. (27 de 08 de 2013). P. 118 recurso hídrico. Obtenido de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/22007/26207-1.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Plan de desarrollo municipal de González 2016-2019. (23 de 02 de 2016). Recurso hídrico.obtenidodehttp://gonzalezcesar.micolombiadigital.gov.co/sites/gonzalezcesar/content/files/000024/1165_40-pdm_degonzalez20162019_biengobernados_premilinar_oapd.pdf

Pomca del río anamichú-tolima. (2009). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río anamichú-tolima. Obtenido de factores físico químicos y bacteriológicos de los ecosistemas acuáticos: https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/pomcas/pomca_anamichu/capitulo_2._descripcion_de_la_cuenca/1._subsistema_fisicobiotico/1.7_calidad_de_aguas.pdf

Resolución 2115 de 2007-características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. (22 de 06 de 2007). Capítulo i. Obtenido de características físicas y químicas del agua para consumo humano: https://www.minambiente.gov.co/images/gestionintegraldelrecursohidrico/pdf/legislacion_del_agua/resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Roldán Pérez, g. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales, 40(155), 254-274. Recuperado el 11 del 12 de 2020, de <http://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/335>

Rueda carrascal, h. M., cadenas morales, j. J., & Gómez torrado, r. D. (2020). Evaluación de la calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río algodonal (Ocaña-norte de Santander) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. En j. D. Herrera Galvis, & n. A. Hurtado lugo, aportes al desarrollo sostenible desde el enfoque de las ciencias agrarias y del ambiente para el nororiente colombiano (pág. 117). Bogotá: eco ediciones limitada.

Semarnat. (2009). Compendio de estadísticas ambientales. Obtenido de indicadores de calidad del agua:https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2009/compendio_2009/10.100.8.236_8080/ibi_apps/wfservlet28b9.html

Sierra Ramírez, c. A.,(2011). El libro calidad del agua evaluación y diagnóstico, recuperado el 25 de 11 de 2018, de [Hhttps://www.academia.edu/9511155/calidad_del_agua_evaluacion_y_diagnostico](https://www.academia.edu/9511155/calidad_del_agua_evaluacion_y_diagnostico)

Velandia medina, I. (2019). Análisis comparativo de los procesos de desinfección utilizados en la planta de tratamiento John J. Carroll con respecto a la planta de tratamiento Tibitoc.

Recuperado el 14 del 09 de 2020, de

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23956/1/trabajo%20de%20grado_v2.pdf

Villada, A. V., & Navarrete, C. H. M. (2014). Documentación de los manuales para la toma de muestra de calidad del agua y vertimientos, realizados por la Corporación Autónoma Regional de Risaralda-Carder (doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial). Recuperado el 05 del 10 de 2020, de

<https://core.ac.uk/download/pdf/71397965.pdf>

Waterboards.com. (s.f). Folleto informativo oxígeno disuelto (OD). Obtenido de la temperatura: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf

Weber, W. J. (1979). Libro de control de la calidad del agua/water quality control: procesos fisicoquímicos. Reverté. Recuperado el 14 del 09 de 2020, de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tlpzh5hqyvgc&oi=fnd&pg=pa1&dq=walter+j.+weber+%26+j+r.\(1979\).+control+de+la+calidad+del+agua,+procesos+fisico+quimicos.+pdf&ots=hr8szia3pa&sig=mwrgkfnr3nchqz-wnggvwqfvvsxq#v=onepage&q&f=false%20el%20medio%20ambiente.pdf](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tlpzh5hqyvgc&oi=fnd&pg=pa1&dq=walter+j.+weber+%26+j+r.(1979).+control+de+la+calidad+del+agua,+procesos+fisico+quimicos.+pdf&ots=hr8szia3pa&sig=mwrgkfnr3nchqz-wnggvwqfvvsxq#v=onepage&q&f=false%20el%20medio%20ambiente.pdf)

Administración del proyecto

Recursos humanos

Tabla 54

Recursos humanos

Participante	Grado Académico-Laboral	Actividad Desarrollada	Tiempo dedicado al Proyecto	Institución-Localidad
Rocío Andrea Miranda Sanguino	Ingeniera Ambiental	Directora Temática del Proyecto	96 semanas	Observatorio Socio Ambiental- UFPSO
Wilson Angarita	Especialista- Ingeniería Ambiental	Jurado Evaluador	1 semana	Observatorio Socio ambiental UFPSO
Yeiny Lozano Lázaro	Especialista- Ingeniería Ambiental	Jurado Evaluador	1 semana	Plan de estudios de ingeniería ambiental
MSc. José J. Cadena Morales	Especialista Reconocimiento de especies de fauna y flora	reconocimiento de Macroinvertebrados	8 semanas	UFPSO
Amparo Rueda	Conocedora de la vereda San Cayetano	Fontanera de la localidad	9 semanas	Vereda San Cayetano
Manuel Jesús Angarita Duarte	Presidente de la junta de la vereda San Cayetano	Conocedor de las problemáticas	7 semanas	Vereda San Cayetano
Cesar Augusto Ascanio García	Funcionario de la alcaldía municipal de González, cesar	Almacenista de información geográfica en Autocap	2 semanas	González, Cesar
María Alejandra	Ingeniera Ambiental	Asesora Temática en Laboratorio de Determinación Parámetros Físico- Químicos y microbiológicos.	4 semanas	Laboratorio de Aguas, de la UFPSO, sede ocaña
Yordin Leonel Villareal Solano	Tecnología en Química y Farmacéutica	Analista Químico	3 semanas	Lab. Estudios Ambientales de la UPB-Sede Bucaramanga
Alcides Rivera Hernández	Especialista de muestreos en laboratorio-Lider de Campo	Asesor Temático Trabajo de campo para toma de Muestras	4 semanas	Lab. de Estudios Ambientales de la UPB-sede Bucaramanga

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021

Recursos institucionales:

Para el desarrollo de esta investigación se tendrá el apoyo financiero de la universidad Francisco de paula Santander, sede Ocaña y también el de Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga, quien en el marco de la contratación para análisis de muestras de agua bajo el acompañamiento del departamento de investigación y extensión (DIE) de la Universidad UFPSO permitió un acuerdo pactado análisis de nuestros dos muestreos en los meses de (mayo y julio); utilizando de esta manera no solo los servicios prestados por el laboratorio acreditado de Estudios ambientales para la evaluación de parámetros fisicoquímicos y el laboratorio de

microbiología para la determinación de parámetros microbiológicos si no también el apoyo incondicional para el análisis de dichos valores de variables obtenidas.

Recursos financieros

La respectiva Elaboración del presupuesto (ingresos – egresos) Aportantes correspondientes para la ejecución de nuestro proyecto se muestra a continuación.

Tabla 55

Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$)

RUBRO	UFPS - DIE	CONTRAPARTIDA7 (Nombre)		TOTAL
	Efectivo	Efectivo	Especie	
Personal				
Equipos - herramientas 4				
Licencias de software				
Reactivos y material de laboratorio				
Materiales e insumos				
Papelería y útiles de escritorio5	100.000			100.000
Salidas de campo	250.000			250.000
Servicios técnicos 6				
Documentación y bibliografía7				
Análisis y pruebas de laboratorio	1200000			1200000
Gastos de viaje8	400000			400000
Publicaciones	No financiable			
Inscripción a ponencias				
Muebles de oficina	No financiable			
Construcciones	No financiable			
Mantenimiento	No financiable			
Imprevistos (pagos para)	50			50000
Total	2.000.000			2.000.000

3. Tener en cuenta que la DIE solo financia el personal relacionado con encuestadores, auxiliares de campo, tabuladores y digitadores de información. El personal investigador que participa en el desarrollo del proyecto, se debe valorar como recursos de contrapartida en especie. El monto máximo para asesores del proyecto es de \$500.000 Adquisición o arrendamiento de herramientas y equipos; las herramientas o equipos adquiridos, pasarán a formar parte de la DIE una vez finalizado el proyecto de investigación. El monto máximo que se aprueba por papelería es de Doscientos Mil Pesos (\$ 200.000) Servicios Técnicos: análisis estadísticos, servicios de reprografía, mantenimiento y construcción de equipos requeridos para investigación. No se financia la suscripción a revistas. Monto para compra de libros de \$250.000 En modalidad de ponencia o asesoría técnica externa relacionada con el desarrollo del proyecto. Solo se financia la participación como ponente hasta en un evento nacional y uno internacional. Se debe especificar la fuente de contrapartida. En el caso de existir más de una fuente de contrapartida se debe adicionar columnas al lado derecho especificando cada una de ellas. Los aportes de contrapartida en efectivo y/o especie deben estar soportados con una carta de compromiso o Certificado de Disponibilidad Presupuestal según corresponda.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Apéndices

Se presentan en este apartado Las tablas y figuras, consecuentemente relacionadas en el desarrollo del texto. También se incluyen los datos en bruto, instrumentos de investigación y material adicional.

Apéndice A. Organismos competentes a la gestión del Recurso Hídrico

Nivel de Actuación	Instituciones	Modo de Actuación	Funciones relativas a la Gestión del Recurso Hídrico
Nivel Nacional	Presidencia de la República	Formulación de Política	(+) Diseño e Implementación de Políticas de Gestión del recurso Hídrico. (+) Seguimiento y evaluación. (+) Contaminación y usos del Recurso Hídrico.
	Min. Ambiente y desarrollo Sostenible		(+) Regulación Ambiental (+) Implementar Políticas en Materia de Gestión Integral del Recurso Hídrico. (+) Formulación y adopción, planes, proyectos y regulación en materia ambiental, agua potable, saneamiento básico ambiental territorial y urbano etc. (Contraloría General de la República, 2007-2008, como se citó en Decreto 216 de 2003, Artículo 1).
Nacional	Dpto. Nal. De Planeación	Formulación de Política	(+) Diseño, orientación, coordinación, seguimiento y evaluación de las políticas de desarrollo Urbano, a través de la subdirección de Vivienda y desarrollo Urbano, la Subdirección de agua Potable y saneamiento Básico, (SASB) y del Grupo de Política ambiental y Desarrollo Sostenible (GPADS). (contraloría general de la república, 2007-2008, como se citó en departamento nacional de Planeación, 2015). (+) Expide de forma conjunta con el MADS, las normas técnicas de Calidad que debe cumplir el agua para consumo Humano. (+) Vigila y controla los factores de riesgo del ambiente que afectan la salud Humana, en lo relacionado con calidad del agua para consumo humano, residuos sólidos, líquidos y peligrosos.
	Ministerio de la Protección Social	Financiación	(+) Financiación y apoyo al acceso a crédito. (CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 2007-2008, P. 183). (+) Dirigir y desarrollar las políticas Económicas y fiscales del estado (+) Participa en la elaboración del proyecto de ley del plan Nacional de Desarrollo. (+) Planea, prepara, administra, ejecuta y controla el presupuesto General de la nación. (ministerio de hacienda y crédito público, 2015).
	Ministerio de Hacienda y Crédito Publico		(+) Financiación y la Asesoría en los referente al diseño, ejecución, administración de proyectos o programas de Inversión relacionados con la construcción, ampliación y reposición de infraestructura correspondiente al sector de agua Potable y Saneamiento Básico.
	Financiera de Desarrollo Territorial (FINDETER) ³ Fondo Nacional de Regalías (FNR)		(+) Preservación del Ambiente (+) Financiación de Proyectos de inversión definidos como prioritarios en los planes de desarrollo de las unidades territoriales.
Instituto de Hidrología, Meteorología	(+) Genera Conocimiento, produce y suministra datos e información ambiental. (+) Realiza investigaciones, Inventarios y actividades de seguimiento y manejo de la información que sirvan para fundamentar la toma de decisiones en materia de política ambiental. (+) A través de la subdirección de Hidrología, obtiene, analiza, procesa, valida y genera información acerca del estado del recurso Hídrico (superficial y subterráneo) en aspectos de Calidad, Cantidad, demanda, oferta, origen, distribución. (+) Mantiene y opera la re hidrológica del país. (Contraloría General de la República, 2007- 2008, p. 185, como se citó en Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2015).		
Nacional	Estudios Ambientales 4	Regulación	(+) Regulación Económica de los servicios de agua potable y Saneamiento Básico en temas como la determinación de parámetros de calidad del agua en la prestación del servicio. (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico., 2015)
	Comisión Reguladora de agua Potable y Saneamiento (CRA) ⁵		

³ Es una entidad vinculada al ministerio de Hacienda y crédito Público.

Nivel de Actuación	Instituciones	Modo de Actuación	Funciones relativas a la Gestión del Recurso Hídrico
Regional y Local	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)	Investigación y Regulación	(+) Ejerce el control, la inspección y la vigilancia de las entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios, para garantizar el cumplimiento de la legislación. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2015).
	Autoridades Ambientales Competentes ⁶	Integrales	(+) como máxima autoridad ambiental de su jurisdicción tienen entre sus responsabilidades, la ejecución de políticas, planes, programas, proyectos en materia ambiental, (+) Ordenar y establecer normas y directrices para el manejo de cuencas hidrográficas ubicadas en su jurisdicción. (+) Planifican y vigilan el cumplimiento de los Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico- (PORH), Plan de Ordenamiento y manejo de Cuencas (POMCA), Plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) (+) Definen los objetivos de calidad para la cuenca, tramo o cuerpo de agua y las metas global e individual de reducción de Carga contaminante. (+) Otorgan concesiones, licencias ambientales, realizan la facturación y el del cobro de las tazas retributivas y tasa por uso. (Contraloría General de la República, 2007-2008, p. 186). La ley 715 de 2001 definió las siguientes funciones: (+) Coordinar los planes departamentales de agua y saneamiento básico. (+) Implementar esquemas regionales de prestación de servicios públicos que permitan dar cumplimiento a las metas sostenibles de crecimiento del sector. (Contraloría General de la República, 2007-2008, como se citó en Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, 2007).
Regional	Departamentos Direcciones departamentales Distritales y Municipales de Salud (Direcciones Territoriales)	Integral	(+) Ejercen la vigilancia sobre la calidad del agua para consumo humano. (+) Consolidan y registran en el SIVICAP ⁷ los resultados de los análisis de las muestras de agua exigidas por la ley. (+) Practicar visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano (+) Calcular los índices de Riesgo de Calidad de agua para consumo Humano- (IRCA). 8 (CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 2007-2008, P. 185). (+) Vigilar en su jurisdicción la Calidad del agua Para consumo Humano ⁹ . (+) Promover, cofinanciar o ejecutar en coordinación con otras entidades públicas, comunitarias o privadas, obras de irrigación, drenaje y recuperación de tierras. (+) Realizar las actividades necesarias para el adecuado manejo y aprovechamiento de cuencas y micro cuencas hidrográficas.
Nivel Local	Municipios	Integral	(+) Cumplir el artículo 111 de la ley 99 de 1993 ¹⁰ (CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA, 2007-2008, P. 187). (+) Prestar el Servicio público de acueducto, alcantarillado y sus actividades complementarias ¹¹
“Apéndice A” Nivel Local	Servicios Públicos de Acueducto y Alcantarillado	Vigilancia y Control	(+) Son responsables del cumplimiento de la meta individual de carga contaminante y del pago de la tasa retributiva. (+) Cumplir con todas las disposiciones legales frente a las concesiones, uso u calidad del agua que distribuye (empresa de acueducto) y de la que vierte (Empresa de alcantarillado). (+) Asistencia Técnica, conformación de Esquema regionales cofinanciación.

Nota.4 El IDEAM es un Instituto de Apoyo técnico Científico del SINA, Adscrito al MADS. El recurso Hídrico es dirigido a través de la subdirección de Hidrología.⁵ La comisión es una Unidad Administrativa Especial adscrita al MADS.⁶ Son autoridades Ambientales competentes, las Corporaciones Autónomas regionales (CAR), las corporaciones de Desarrollo sostenible-(CDS), las Autoridades ambientales de los Grandes centros Urbanos (AAU) y aquellas de las que habla el artículo 13 de la ley 768 de 2002.⁷ SIVICAP. Sistema de inspección y Vigilancia de la calidad del agua para consumo Humano.⁸ Decreto 1575 de 2007. Art. 8°. ⁹ Ordenado por la ley 715 de 2001. ¹⁰ Adquisición de áreas de Interés público para acueductos Municipales. ¹¹ Ley 142 de 1994. Artículo 6°.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021., con base en información adaptada de la Contraloría de la República, (2007-2008). Recuperado de: Estado de los recursos Naturales y del ambiente, (p. 183). Bogotá, D.C. Grupo editor de la Contraloría General de la república. Oficina de Publicaciones y comunicaciones.

Apéndice B. Legislación Vigente que regula la Evaluación y Valoración de la calidad del agua

Normas	Año	Emitida Por	Epígrafe o breve descripción
Decreto 1380	1940	Presidencia	Sobre aprovechamiento, conservación y distribución de aguas nacionales de Uso públicos
Decreto-Ley 2811	1974	Presidencia	Regula los recursos naturales Renovables. Código de los recursos naturales renovables.
Decreto 1541	1978	Presidencia	Reglamenta la parte III del libro II del decreto-ley 2811/74 sobre las “Aguas no marítimas” y calidad de las aguas en los Artículos [119 (b), 120 (P.2) ,152 (f), 229, 248 (b) 227 (#4)]
Decreto 1681	1978	Presidencia	Reglamenta la parte X del libro II del Decreto-Ley 2811 sobre los recursos hidrobiológicos. <<Derogado por el decreto 475 de 1998>> por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la ley 9/79 en
Decreto 2105	1983	Ministerio de la Salud	cuanto a potabilización del agua.
Decreto 1594	1984	Presidencia	Se estipulan los criterios de Calidad que deben alcanzar las fuentes de agua para posibilitar los diferentes usos.
Ley 79	1986	Congreso de la República	Por la cual se promueve la conservación del agua y se dictan otras disposiciones.
Constitución política de Colombia	1991	Asamblea Nacional constituyente	Con el fin de Fortalecer la unidad de la nación y asegurar a sus integrantes la vida, la convivencia, la justicia, la igualdad del conocimiento, la libertad y la paz, dentro del marco jurídico, democrático y participativo que garantice un orden político económico justo y comprometido a impulsar la integración de la comunidad latinoamericana.
Ley 99	1993	Congreso de la República	Por la cual se crea el actual Ministerio de Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables, se Reorganiza el Sistema Nacional Ambiental.
Decreto 1277	1994	Presidencia	Por el cual se organiza y establece el instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, IDEAM
Decreto 475	1998	Presidencia	Por la cual se expiden Normas Técnicas de calidad del agua Potable Art. 2. Define la obligatoriedad de las disposiciones relacionadas con la calidad del agua potable para consumo Humano. Art.4. Las personas que prestan el servicio público de acueducto son las responsables del cumplimiento de las normas de calidad de agua establecida en el presente decreto. Y deben garantizar la calidad del agua potable. Art. 5. Normas Organolépticas, físicas, Químicas y microbiológicas de la calidad del agua potable. Art. 8°. Criterios Químicos de la calidad del agua Potable Art. 27. Especifica el Numero de Muestras que deben tomarse en la red de distribución de todo el sistema de suministro de agua potable, de acuerdo a la población servida. (Presidencia de La Republica, 1998)
Resolución 1096 (RAS)	2000	Ministerio de Desarrollo Económico	Lineamientos para definir los niveles de tratamiento del agua para “consumo Humano” en función de la calidad de la fuente que va desde aceptable a muy deficiente, de acuerdo con su grado de contaminación.
CONPES 3343	2005	MAVDT	Lineamientos y Estrategias de desarrollo Sostenible para los sectores de agua, Ambiente y Desarrollo Territorial. En el # 1.2. (ii) habla sobre los estándares de Calidad del agua, de acuerdo con el tipo de Uso. Y en el # 2 (párrafo 4) habla acerca de habla en el contexto del manejo integral de agua, la divulgación de los protocolos de monitoreo de la calidad del agua. (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2015)
Ley 1151	2007	Congreso de la República	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010.
Resolución 2160	2007	MAVDT	Por la cual se crea un grupo Interno de Trabajo en el Despacho del Viceministro de Ambiente del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible: Grupo del Recurso Hídrico. (Una de sus funciones vigila el monitoreo de la calidad del recurso Hídrico).
Decreto 1575	2007	Presidencia	Por la cual se establece el sistema para la protección y control de la Calidad del agua para Consumo Humano. (Ministerio de la Protección social, 2007)
Resolución 2115	2007	MAVDT	Por Medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y Vigilancia de la calidad del agua para consumo Humano (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico,2008)

Resolución n 0811	2008	Ministerio de la Protección Social y el MAVDT	<p>Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de las cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia, los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo Humano en la red de distribución. (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial., 2008)</p> <p>Por la cual se crea el sistema de información del recurso hídrico –SIRH-</p> <p>Art. 3. El SIRH gestionará la información ambiental relacionada con:</p> <p>-b. calidad de las aguas superficiales subterráneas, marinas y estuarinas.</p> <p>Art. 4. Objetivos del SIRH. Es un objetivo:</p> <p>-b. Considerar un inventario y caracterización del estado y comportamiento del recurso Hídrico en términos de calidad y Cantidad</p>
Decreto 1323	2007	MAVDT	<p>Art5. Áreas temáticas del SIRH.</p> <p>-b. la Calidad Hídrica. Conformada por la información referente a la calidad del recurso Hídrico (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)</p>
Resolución n 2320	2009	MAVDT	<p>Por la cual se modifica parcialmente la resolución 1096 de 2000.</p>
Resolución n No. 0631	2015	MADS	<p>Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos Permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado Público y se dictan otras disposiciones.</p> <p>Art. 6. Parámetros microbiológicos de análisis y Reporte en los vertimientos puntuales de agua residuales y ARnd a cuerpos de agua superficiales.</p> <p>Art. 7. Parámetros de Ingredientes Activos de plaguicidas de las categorías Toxicológicas IA, IB, II y sus valores límites Máximos Permisibles en los vertimientos Puntuales de aguas Residuales No domésticas-ARnd A cuerpos de agua superficiales y Alcantarillados público. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)</p>
Decreto Único 1076	2015	MADS (Ministerio de Ambiente Y Desarrollo Sostenible)	<p>Decreto Único reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo sostenible. Artículos (2.2.3.3.1.6. # 8, sobre Modelos de simulación de Calidad del agua, Art. 2.2.3.3.1.8 #3, Párrafo 2, sobre los diagnósticos de la Calidad del Agua con base a los modelos de simulación de Calidad del Agua; Art. 2.2.9.7.5.3. Sobre los recaudos de la tasa retributiva para inversión en Monitoreo de la calidad del agua y la descontaminación Hídrica).</p>

Nota. Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021., con base en información adaptada de la Contraloría de la República, (2007-2008). Recuperado de: Estado de los recursos Naturales y del ambiente, (pp. 247-255). Bogotá, D.C. Grupo editor de la Contraloría General de la república. Oficina de Publicaciones y comunicaciones.

Apéndice C. Variables Físico-químicas-Microbiológicas monitoreadas y sus métodos de evaluación.

VARIABLE	UNIDADES	TÉCNICA	MÉTODO
Alcalinidad total	MgCaCO ₃ /L	Volumétrico	SM 2320 B
Color real	UPtCo	Colorimetría	SM 2120 C
conductividad	μS/cm	Electrométrico	SM 2510 B
Cloro	mg Cl ₂ /L		SM 4500-Cl G
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	Método B Argentométrico	SM 4500-Cl- B
DBO ₅	mg O ₂ /L	Respirométrico	SM 5210 B SM 4500-O C
DQO	mg O ₂ /L	Reflujo Cerrado – Volumétrico	SM 5220 C
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	Volumétrico	SM 2340 C
Fluoruros	mg F ⁻ /L	Ion-selectivo método de electrodo	SM 4500- F C
Nitratos	mg NO ₃ /L	Espectrofotometría UV	SM 4500-NO ₃ B
Nitritos	mg NO ₂ /L	Colorimétrico	SM 4500-NO ₂ B
Nitrógeno amoniacal	mg NH ₃ -N/L	Destilación - Volumétrico	SM 4500-NH ₃ B, C
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /L	Electrométrico por Modificación Acida	SM 4500-O C
PH y temperatura	unidades de pH/ ^o C	Electrométrico	SM 4500-H+ B - SM 2550B
Solidos suspendidos totales	mg SST/L	Gravimétrico	SM 2540 D
Solidos totales	mg SST/L	Gravimétrico	SM 2540 B
Solidos disueltos	mg SST/L	Gravimétrico	CALCULO
Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ /L	Cromatografía Iónica	SM 4500-SO ₄ E
Turbiedad	NTU	Turbidimétrico	SM 2130 B

Nota. (*) la evaluación de las variables Col.Totales y E.coli se realizó en laboratorios diferentes. Cada uno, autónomamente, aplicó una técnica distinta. El Test de sustrato enzimático fue utilizado por el laboratorio de estudios ambientales de la UPB-sede Bucaramanga y la técnica de tubos muelles de Fermentación fue aplicada por el laboratorio de calidad de aguas de la UFPSO. Los reportes se dan en las mismas unidades.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021, con base a Información adaptada en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th, Edition, (2012). Y American Public Health Association, Ed. 21, (2005).

Apéndice D. Criterios de calidad para las Aguas crudas destinadas al consumo Humano.

LÍMITES PERMISIBLES		
Parámetros	Expresados Como (Mg/L)¹	Norma exigida por Ministerio de la Protección Social Resolución 2115/2007
Turbiedad	NTU	<2
Alcalinidad Total	CaCO ₃	<200
Dureza Total	CaCO ₃	<300
Conductividad	µS/cm	<1000
pH	Unidades pH	6,5-9,0
Nitritos	NO ₂	<0,1
Nitratos	NO ₃	<10
Cloruros	Cl ⁻	<250,0
Sulfatos	SO ₄	<250,0
Sólidos totales	mg ST/L	<500
Análisis Bacteriológicos		
Recuento Coliformes Totales	UFC/100 cm ³	0
Recuento E. coli	UFC/100 cm ³	0

Nota: 1 Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente Capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021 de información adaptada de la (Resolución 2115 de 2007- características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, 2007)

Apéndice E. Criterios de calidad para las Aguas crudas destinadas al consumo Humano.

LÍMITES PERMISIBLES			
Parámetros	Expresados Como (Mg/L)¹	Norma Nacional Decretos 1594/84	Guidelines for Drinking Water Quality OMS (1996)²
Temperatura	°C	NR	NR
Oxígeno Disuelto	OD	5,0	5,0-9,5
Alcalinidad	mg/l(CaCO ₃)	100	NR
Cloro libre	mg/L Cl ₂	NR	0,2-5,0
Color real	UptCo	1,0	15
Conductividad	μS/cm	NR	NR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	5,0	NR
Demanda Química de Oxígeno	DQO	25,0	NR
Dureza total	mgO ₂ /L	169	500
Fluoruros	mg/L F-	NR	0,4-0,6
Cloruros	Cl-	250,0	250
Fosforo Total	mg P/L	NR	NR
Nitratos	NO	10	505
Nitritos	NO	10	2
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH ₃ /L	NR	1,5
Nitrógeno Kjeldahl	mg N/L	NR	NR
pH	Unidades pH	5,0-9,0	6,5-8,5
Sólidos totales	mg ST/L	NR	NR
Sólidos Suspendidos Totales	SST	1000	1000
Sólidos Disuelto	mg SD/L	NR	NR
Sulfatos	SO ₄	400,0	250
Turbiedad	NTU	10	5
Análisis Bacteriológicos			
Recuento Coliformes Totales	NMP	<20.000 microorganismos/100 mL	ND
Recuento E. coli	NMP	<2.000 microorganismos/100 mL	<1,1 in 100 mL

Nota: Los que se relacionan anteriormente indican que para su potabilización se requiere solamente tratamiento convencional. 1 Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente Capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.; 2Se utilizan los criterios de calidad para aguas de consumo humano de la OMS; 3 Cuando nitrato y nitrito están presentes, la suma de las dos concentraciones no debe exceder 10 mg/L.; 4 Turbiedad promedio para una efectiva desinfección: = 1 UNT. Muestra simple: = 5 UNT.; ND: no detectables en ninguna muestra de 100 mL

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021 con base a información adaptada de: Guidelines for Drinking-Water Quality, 2nd edition Vol.3, Organización Mundial de la Salud, (1997). Geneva, Ginebra Suiza. Y de (Decreto 1594 de 1984 – Usos de Agua y Residuos Líquidos, 1984)

Apéndice F. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso Agrícola

LÍMITES PERMISIBLES		
Parámetros	Expresados Como (Mg/L) ¹	Norma Nacional Decretos 1594/84
Aluminio	Al	5.0
Arsenico	As	0.1
Berilio	Be	0.1
Cadmio	Cd	0.01
Zinc	Zn	2.0
Cobalto	Co	0.05
Cobre	Cu	0.2
Cromo	Cr+6	0.1
Boro	Be	0,3-4,0
Recuento Coliformes Totales	NMP	<5.000 microorganismos/100 mL
Recuento E. coli	NMP	<1.000 microorganismos/100 mL
Fluor	F	1.0
Hierro	Fe	5.0
Litio	Li	2.5
Manganeso	Mn	0.2
Molibdeno	Mo	0.01
Niquel	Ni	0.2
pH	Unidades	4.5 - 9.0 Unidades
Plomo	Pb	5.0
Selenio	Se	0.02
Vanadio	V	0.1

Nota: 1 Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente Capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.; 2Se utilizan los criterios de calidad para aguas de uso agrícola del decreto 1594 de 1984.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021 con base a información adaptada del (Decreto 1594 de 1984 – Usos de Agua y Residuos Líquidos, 1984)

Apéndice G. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para uso pecuario

LÍMITES PERMISIBLES		
Parámetros	Expresados Como (Mg/L)¹	Norma Nacional Decretos 1594/84
Aluminio	Al	5.0
Arsénico	As	0.2
Boro	B	5.0
Cadmio	Cd	0.05
Zinc	Zn	25.0
Cobre	Cu	0.5
Cromo	Cr+6	1.0
Mercurio	Hg	0.01
Nitratos + Nitritos	N	100.0
Nitrito	N	10.0
Plomo	Pb	0.1
Contenido de sales	Peso total	3,000

Nota: 1 Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente Capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.; 2Se utilizan los criterios de calidad para aguas de uso pecuario del decreto 1594 de 1984.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021 con base a información adaptada del (Decreto 1594 de 1984 – Usos de Agua y Residuos Líquidos, 1984)

Apéndice H. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario

LÍMITES PERMISIBLES		
Parámetros	Expresados Como (Mg/L) ¹	Norma Nacional Decretos 1594/84
Coliformes fecales	NMP	<200 microorganismos/100 ml
Coliformes totales	NMP	<1.000 microorganismos/100ml
Compuestos Fenólicos	Fenol	0.002
Oxígeno disuelto	–	70% concentración de saturación
pH	Unidades	5.0-9.0 Unidades
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5

Nota: 1 Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente Capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.; 2Se utilizan los criterios de calidad para aguas de fines recreativos mediante contacto primario del decreto 1594 de 1984. Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021 con base a información adaptada del (Decreto 1594 de 1984 – Usos de Agua y Residuos Líquidos, 1984)

Apéndice I. Criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario

LÍMITES PERMISIBLES		
Parámetros	Expresados Como (Mg/L) ¹	Norma Nacional Decretos 1594/84
Coliformes totales	NMP	<5.000 microorganismos/100 ml
Oxígeno disuelto	–	70% concentración de saturación
pH	Unidades	5.0-9.0 Unidades
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5

Nota: 1 Los valores asignados a las referencias indicadas en el presente Capítulo se entenderán expresados en miligramos por litro, mg/L, excepto cuando se indiquen otras unidades.; 2Se utilizan los criterios de calidad para aguas de fines recreativos mediante contacto secundario del decreto 1594 de 1984.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021. Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021 con base a información adaptada del (Decreto 1594 de 1984 – Usos de Agua y Residuos Líquidos, 1984)

Apéndice J. Análisis estadístico por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UFPSO

	Q	T°C	OD	ALCAL	COLORO LIBRE	COLOR REAL	C.E	DBO	DQO	DT	F	NO3	NO2	NA	pH	ST	SST	SO4	TB	COLI	E.COLI
*Q	a	0.36	0.72	0.05	0.89	0.53	0.20	0.56	0.47	0.48	1.00	0.79	0.98	1.00	0.55	0.83	0.71	a	0.17	0.52	0.59
T°C	0.36	a	0.01	0.73	0.19	0.20	0.73	0.34	0.34	0.22	0.57	0.15	0.83	0.07	0.10	0.83	0.48	a	0.19	0.01	0.31
OD	0.72	0.01	a	0.82	0.09	0.09	0.96	0.34	0.42	0.51	0.38	0.04	0.78	0.01	0.11	0.81	0.20	a	0.42	0.05	0.21
ALCAL	0.05	0.73	0.82	a	0.44	0.57	0.42	0.97	0.68	1.00	0.51	0.93	0.94	0.82	0.81	0.25	0.73	a	0.09	0.66	0.90
COLORO LIBRE	0.89	0.19	0.09	0.44	a	0.39	0.47	0.52	0.49	0.74	0.96	0.54	0.13	0.20	0.58	0.72	0.85	a	0.59	0.46	0.63
COLOR REAL	0.53	0.20	0.09	0.57	0.39	a	0.27	0.04	0.07	0.77	0.42	0.09	0.81	0.02	0.33	0.50	0.05	a	0.77	0.08	0.00
C.E	0.20	0.73	0.96	0.42	0.47	0.27	a	0.51	0.47	0.94	0.25	0.51	0.10	0.70	0.68	0.79	0.15	a	0.26	0.82	0.27
DBO	0.56	0.34	0.34	0.97	0.52	0.04	0.51	a	0.02	0.98	0.81	0.46	0.81	0.15	0.92	0.23	0.33	a	0.40	0.15	0.01
DQO	0.47	0.34	0.42	0.68	0.49	0.07	0.47	0.02	a	0.51	0.96	0.70	0.95	0.32	0.70	0.72	0.58	a	0.70	0.16	0.08
DT	0.48	0.22	0.51	1.00	0.74	0.77	0.94	0.98	0.51	a	0.41	0.83	0.57	0.87	0.09	0.28	0.82	a	0.94	0.26	0.96
F	1.00	0.57	0.38	0.51	0.96	0.42	0.25	0.81	0.96	0.41	a	0.13	0.12	0.43	0.04	0.61	0.16	a	0.41	0.52	0.68
NO3	0.79	0.15	0.04	0.93	0.54	0.09	0.51	0.46	0.70	0.83	0.13	a	0.60	0.01	0.12	0.51	0.01	a	0.68	0.13	0.14
NO2	0.98	0.83	0.78	0.94	0.13	0.81	0.10	0.81	0.95	0.57	0.12	0.60	a	0.89	0.38	0.97	0.41	a	0.40	0.81	0.80
NA	1.00	0.07	0.01	0.82	0.20	0.02	0.70	0.15	0.32	0.87	0.43	0.01	0.89	a	0.25	0.44	0.06	a	0.44	0.07	0.05
pH	0.55	0.10	0.11	0.81	0.58	0.33	0.68	0.92	0.70	0.09	0.04	0.12	0.38	0.25		0.58	0.33	a	0.99	0.13	0.60
ST	0.83	0.83	0.81	0.25	0.72	0.50	0.79	0.23	0.72	0.28	0.61	0.51	0.97	0.44	0.58	a	0.36	a	0.20	0.54	0.19
SST	0.71	0.48	0.20	0.73	0.85	0.05	0.15	0.33	0.58	0.82	0.16	0.01	0.41	0.06	0.33	0.36	a	a	0.99	0.29	0.06
SO4	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
TB	0.17	0.19	0.42	0.09	0.59	0.77	0.26	0.40	0.70	0.94	0.41	0.68	0.40	0.44	0.99	0.20	0.99	a	a	0.23	0.56
COLI	0.52	0.01	0.05	0.66	0.46	0.08	0.82	0.15	0.16	0.26	0.52	0.13	0.81	0.07	0.13	0.54	0.29	a	0.23	a	0.10
E. COLI	0.59	0.31	0.21	0.90	0.63	0.00	0.27	0.01	0.08	0.96	0.68	0.14	0.80	0.05	0.60	0.19	0.06	a	0.56	0.10	a

Nota. La tabla muestra la correlación de Pearson para las variables analizadas más relevantes de acuerdo a los objetivos que se desean evaluar

*Q. variable no valora por el laboratorio

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

a. No se puede calcular porque, como mínimo, una de las variables es constante. Para interpretar la tabla, El título contiene un hipervínculo que lleva a la matriz detallada desarrollada en una hoja de cálculo de Excel. Puede activarse la hoja dinámica con doble clic sobre la tabla.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021

Apéndice K. Análisis estadístico por el método de correlación de Pearson entre pares de variables valoradas por el laboratorio de la UPB

	Q	T°C	OD	ALCAL	CLORUROS	C.E	DBO5	DQO	DT	F	FOSFORO TOTAL	NO3	NO2	NA	Nitrógeno Kjeldahl	pH	SST	ST	SD	TB	COLI	E.COLI
Q	a	0.69	0.98	0.31	0.54	0.63	0.60	0.85	0.80	a	0.89	0.99	0.34	0.49	0.07	0.67	0.44	0.67	0.96	0.43	0.57	0.60
T°C	0.69	a	0.06	0.91	0.68	0.30	0.01	0.84	0.13	a	0.29	0.23	0.11	0.48	0.77	0.81	0.92	0.40	0.05	0.92	0.43	0.55
OD	0.98	0.06	a	0.70	0.56	0.16	0.09	0.71	0.02	a	0.25	0.23	0.28	0.31	0.89	0.75	0.94	0.30	0.03	0.94	0.21	0.72
ALCAL	0.31	0.91	0.70	a	0.04	0.23	0.97	0.55	0.57	a	0.27	0.35	0.65	0.11	0.56	0.10	0.05	0.15	0.60	0.05	0.79	0.62
CLORUROS	0.54	0.68	0.56	0.04	a	0.15	0.80	0.46	0.46	a	0.12	0.17	0.90	0.07	0.80	0.04	0.08	0.05	0.42	0.08	0.82	0.39
C.E	0.63	0.30	0.16	0.23	0.15	a	0.40	0.90	0.10	a	0.07	0.09	0.70	0.03	0.72	0.30	0.41	0.04	0.11	0.41	0.38	0.55
DBO5	0.60	0.01	0.09	0.97	0.80	0.40	a	0.78	0.18	a	0.38	0.31	0.06	0.59	0.72	0.93	0.80	0.51	0.10	0.80	0.45	0.59
DQO	0.85	0.84	0.71	0.55	0.46	0.90	0.78	a	0.72	a	0.60	0.61	0.74	0.78	0.51	0.25	0.31	0.63	0.95	0.32	0.28	0.20
DT	0.80	0.13	0.02	0.57	0.46	0.10	0.18	0.72	a	a	0.23	0.23	0.41	0.21	0.74	0.67	0.82	0.24	0.05	0.82	0.17	0.77
F	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
FOSFORO TOTALES	0.89	0.29	0.25	0.27	0.12	0.07	0.38	0.60	0.23	a	a	0.01	0.63	0.09	0.95	0.18	0.36	0.02	0.13	0.36	0.67	0.26
NO3	0.99	0.23	0.23	0.35	0.17	0.09	0.31	0.61	0.23	a	0.01	a	0.54	0.14	0.86	0.22	0.43	0.05	0.11	0.43	0.69	0.23
NO2	0.34	0.11	0.28	0.65	0.90	0.70	0.06	0.74	0.41	a	0.63	0.54	a	0.91	0.51	0.82	0.54	0.81	0.29	0.53	0.63	0.66
NA	0.49	0.48	0.31	0.11	0.07	0.03	0.59	0.78	0.21	a	0.09	0.14	0.91	a	0.64	0.19	0.25	0.03	0.24	0.25	0.49	0.56
Nitrógeno Kjeldahl	0.07	0.77	0.89	0.56	0.80	0.72	0.72	0.51	0.74	a	0.95	0.86	0.51	0.64	a	0.98	0.75	0.85	0.98	0.75	0.37	0.35
pH	0.67	0.81	0.75	0.10	0.04	0.30	0.93	0.25	0.67	a	0.18	0.22	0.82	0.19	0.98	a	0.05	0.14	0.57	0.05	0.91	0.27
SST	0.44	0.92	0.94	0.05	0.08	0.41	0.80	0.31	0.82	a	0.36	0.43	0.54	0.25	0.75	0.05	a	0.25	0.79	0.00	0.90	0.49
ST	0.67	0.40	0.30	0.15	0.05	0.04	0.51	0.63	0.24	a	0.02	0.05	0.81	0.03	0.85	0.14	0.25	a	0.19	0.25	0.62	0.37
SD	0.96	0.05	0.03	0.60	0.42	0.11	0.10	0.95	0.05	a	0.13	0.11	0.29	0.24	0.98	0.57	0.79	0.19	a	0.79	0.36	0.51
TB	0.43	0.92	0.94	0.05	0.08	0.41	0.80	0.32	0.82	a	0.36	0.43	0.53	0.25	0.75	0.05	0.00	0.25	0.79	a	0.90	0.50
COLI	0.57	0.43	0.21	0.79	0.82	0.38	0.45	0.28	0.17	a	0.67	0.69	0.63	0.49	0.37	0.91	0.90	0.62	0.36	0.90	a	0.65
E.COLI	0.60	0.55	0.72	0.62	0.39	0.55	0.59	0.20	0.77	a	0.26	0.23	0.66	0.56	0.35	0.27	0.49	0.37	0.51	0.50	0.65	a

Nota. La tabla muestra la correlación de Pearson para las variables analizadas más relevantes de acuerdo a los objetivos que se desean evaluar

*Q. variable no valora por el laboratorio

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

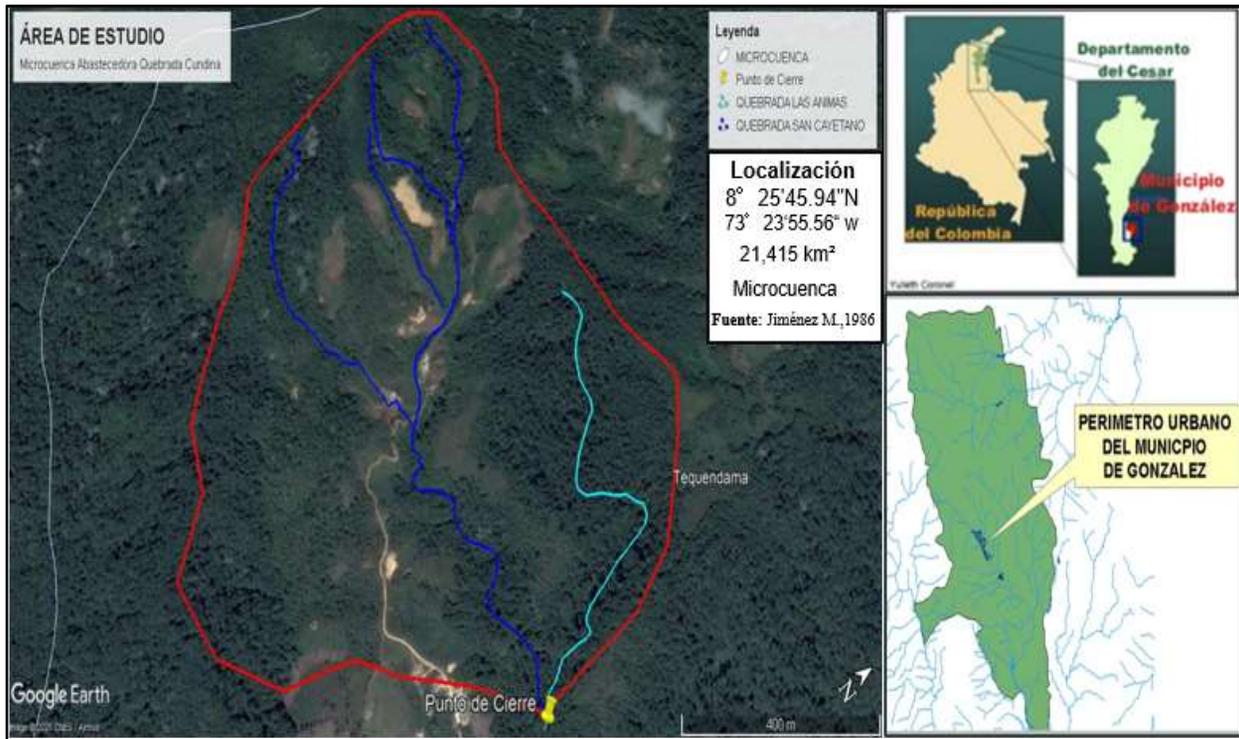
**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

a. No se puede calcular porque, como mínimo, una de las variables es constante. Para interpretar la tabla, El título contiene un hipervínculo que lleva a la matriz detallada desarrollada en una hoja de cálculo de Excel. Puede activarse la hoja dinámica con doble clic sobre la tabla.

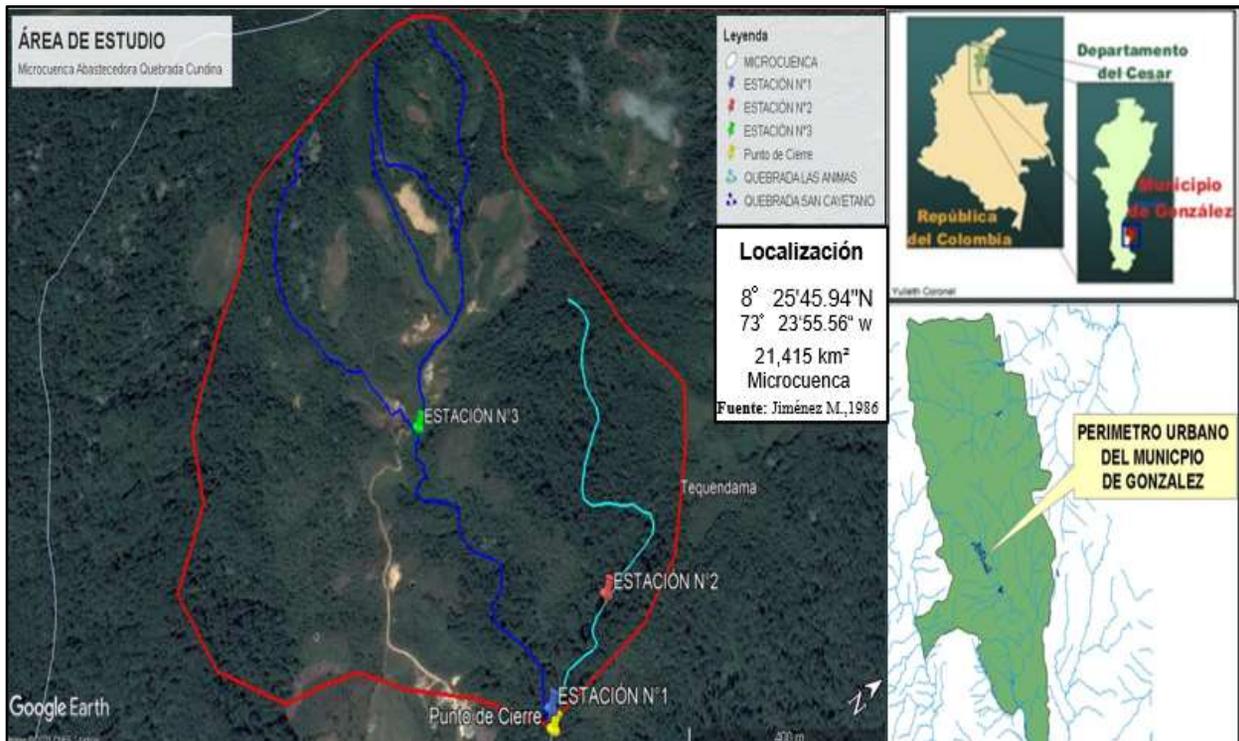
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.

Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021

Apéndice L. Apoyo con Google Earth, 2021

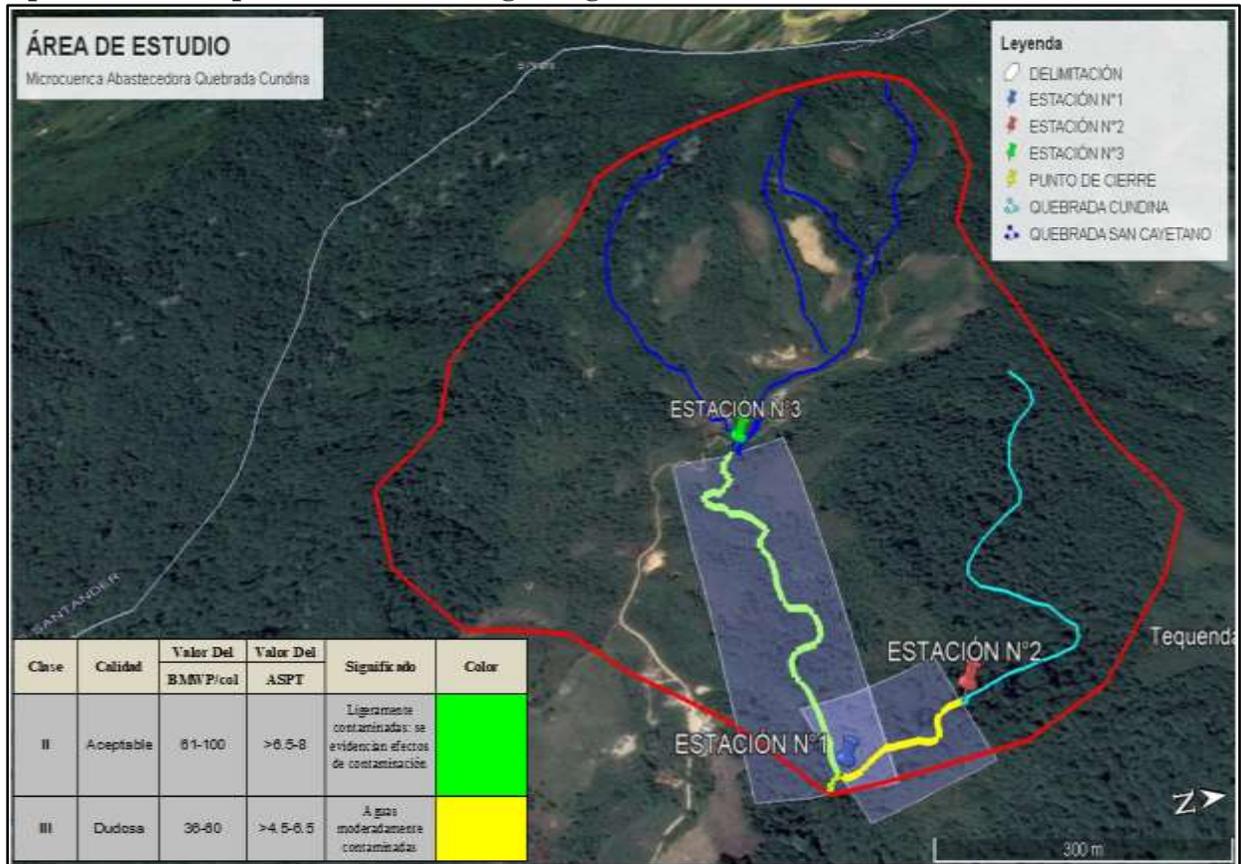


Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
 Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021



Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
 Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021

Apéndice M. Mapa de Calidad del Agua según índice BMWP/col.

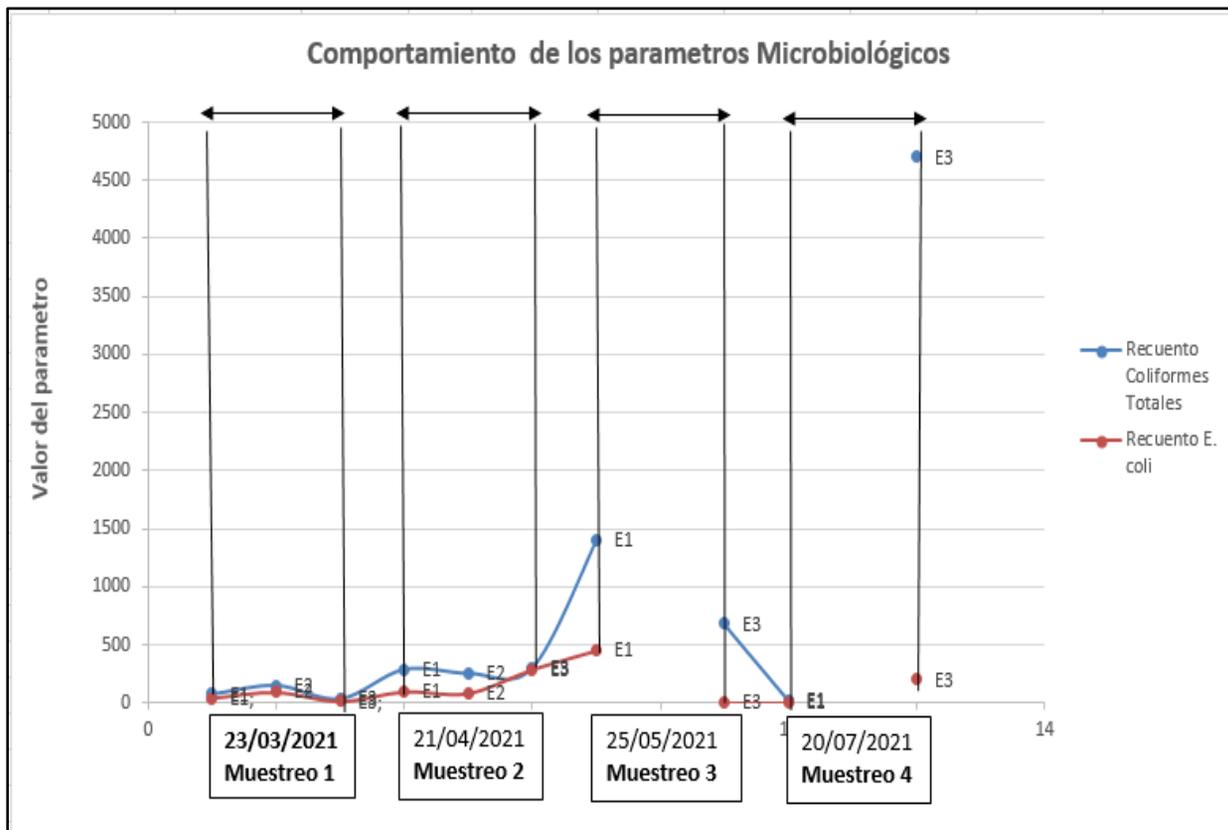


Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021

Apéndice N. Análisis de las variables microbiológicas durante los cuatro (4) muestreos realizados.

PARAMETROS	Laboratorio de aguas de la UFPSO						Laboratorio ambiental de la UPB					
	23-mar-21			21-abr-21			25-may-21			20-jul-21		
	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
Recuento Coliformes Totales	75	150	34	289	256	300	1400	—	680	20.0	—	4700
Recuento E. coli	43	93	15	98	84	287	450	—	1.5	1.41	—	200

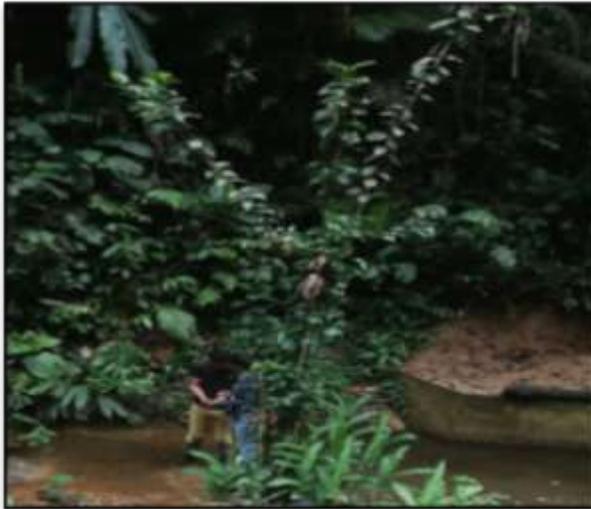
Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021



Nota. En la gráfica anterior no se cuenta con los valores microbiológicos de la estación 2 debido a que no fue posible su análisis por falta de recursos económicos para el presente trabajo de investigación.

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Apéndice O. Trabajo de investigación en Campo (Microcuenca Abastecedora Q. Cundina)



Fase de georreferenciación en las tres (3) Estaciones de monitoreo en campo



Fase de Rotulación de las muestras en campo



Fase de Muestreo en las tres (3) Estaciones de monitoreo en campo



Fase de recolección de muestras fisicoquímicas y microbiológicas en las estaciones de monitoreo



Fase de medición de caudales en las estaciones de monitoreo



Fase de recolección de macroinvertebrados bentónicos en las estaciones de monitoreo

Apéndice P. Ficha de campo con datos generales Para Toma De Muestras Biológicas en las estaciones de monitoreo.

LOCALIDAD: CUENCA: PROV. / DPTO. RESPONSABLE:		CODIGO ESTACIÓN: FECHA: HORA INICIO: HORA TERMINO:			
PERSONAL CAMPO:					
COORDENADAS Y ALTITUD:					
CONDICIONES METEOROLÓGICAS: Sol Nublado Lluvia		Lluvias en los últimos 7 días: SI NO			
REGISTRO FOTOGRAFICO: SI NO					
EGETACION RIPARIANA (Hasta 18m) Indicar el tipo de vegetación predominante Arboles Arbustos Pastos Herbáceas Espacie predominante:		Cobertura de dosel Parcialmente abierto Parcialmente sombreado Sombreado Abierto			
Longitud estimada _____m Ancho estimado _____m Área estimada de muestreo _____m ² Profundidad estimada _____m Velocidad de corriente _____		Altura de marca de agua _____m			
PARAMETROS FISICOQUÍMICOS: pH T (°C) CE TDS Sal% OD Equipo utilizado:					
Clor del agua . Norma/Ninguno Desagüe Petróleo Químico Pescado Otro		Turbidez (si no es medida) . Clara Levemente turbio Turbio Otro			
SUSTRATOS INORGANICOS (deben sumar 100%)					
Tipo de sustrato	Diámetro	% de composición en el área de muestreo	Tipo de sustrato	Característica	% de composición en el área de muestreo
Roca madre			Hojarasca	Palos, madera, plantas, en tamaños pequeños	
Boulder	> 256 mm				
Canto rodado	64-256 mm		Estiércol	De cualquier tipo de ganado o animales de la zona	
Grava	2-64 mm				
Arena	0.06-2mm				
Limo	0.004-0.06 mm		Marga (roca sedimentaria)	Arcilla amarillenta o grisácea, de origen biológico	
Arcilla	< 0.004 mm				
PLAÑTON: litros filtrados / diámetro de poro de red			PERIFTON: tipo de sustrato		
MACROINVERTEBRADOS			PESCA: Esfuerzo		

Fuente. GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021.

Apéndice Q. Resultado de las familias Bioindicadoras detectadas In situ, durante el muestreo y su identificación *taxonómica*.

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Coleóptera
FAMILIA	Elmidae
PONDERACION ADSOLUTA	6

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Coleóptera
FAMILIA	Hydrophilidae
PONDERACION ADSOLUTA	3

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Coleóptera
FAMILIA	Ptilodactylidae
PONDERACION ADSOLUTA	10

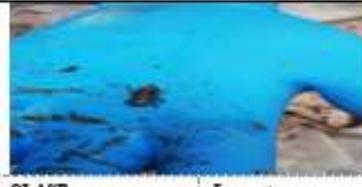
Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Coleóptera
FAMILIA	Psephenidae
PONDERACION ADSOLUTA	10

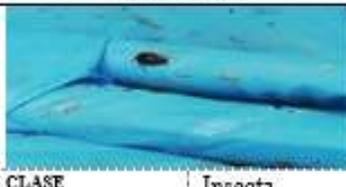
Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Odonata
FAMILIA	Aeshmidae
PONDERACION ADSOLUTA	6

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Odonata
FAMILIA	Calopterygidae
PONDERACION ADSOLUTA	7

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Odonata
FAMILIA	Libellulidae
PONDERACION ADSOLUTA	5

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Odonata
FAMILIA	Coenagrionidae
PONDERACION ADSOLUTA	7

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Odonata
FAMILIA	Gomphidae
PONDERACION ADSOLUTA	9

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Hemiptera
FAMILIA	Naucoridae
PONDERACION ADSOLUTA	8

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Plecoptera
FAMILIA	Pertidae
PONDERACION ADSOLUTA	10

Taxonomía	
	
CLASE	Insecta
ORDEN	Tubificida
FAMILIA	Naididae
PONDERACION ADSOLUTA	1

Apéndice R. Cronograma de actividades del trabajo de investigación

ACTIVIDADES DEL PROYECTO	MESES																											
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6							
	SEMANAS																											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
FASE I:	█	█	█																									
-Revisión de información secundaria					█	█	█																					
-Estructuración y diseño del plan de monitoreo de la calidad del agua de la quebrada cundina de acuerdo a las condiciones de la microcuenca abastecedora y a su dinámica social.					█	█	█																					
FASE II:									█	█	█										█	█	█					
-Levantamiento de la información primaria- fase									█	█															█	█		
-Exploratoria Observación in situ											█	█																
-Implementación del PMCA en la quebrada cundina.													█	█														
-Análisis de las muestras de agua realizadas en la quebrada cundina a nivel de laboratorio.													█	█														
-Análisis de resultados de laboratorio con base a los lineamientos permisibles establecidos por el decreto 1594 de 1984.													█	█														
-Determinación de los ICA Análisis estadístico-correlación de los resultados de valoración de los ICA.													█	█														
FASE III:																												
Evaluar los Parámetros Fisicoquímicos y Grupos Biológicos en laboratorio.																												
FASE VI:																												
-Análisis y Tratamiento de la Información																												
-Estructuración técnica de las condiciones físicas, químicas y Microbiológicas de la calidad del agua de la quebrada cundina.																												
-Documentación referente a la calidad de agua encontrada.																												
-Socialización a las autoridades competentes.																												
-Difusión y divulgación del conocimiento para la apropiación del mismo.																												

Fuente: GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ASUNTOS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MINDALA-UFPSO, 2021.
 Elaborado por Rueda, H., & Solano, A., 2021