



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA  
T U N J A

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA  
DIRECTA DEL RÍO GACHANECA DEL MUNICIPIO DE SAMACÁ**

**Autor:**

**YISETH VANESSA OROZCO PINEDA**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE TUNJA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN HIDROAMBIENTAL**

**2020**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA  
T U N J A

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA  
DIRECTA DEL RÍO GACHANECA DEL MUNICIPIO DE SAMACÁ**

**Trabajo presentado como requisito para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil  
con Énfasis en Hidroambiental**

**Autor:**

**YISETH VANESSA OROZCO PINEDA**

**Semillero de Investigación:**

**Monitoreo de Calidad del Agua**

**Directores:**

**Juan Pablo Gonzalez Galvis, Ph.D.**

**Camilo Lesmes Fabian, Ph.D**

**Sully Segura Peña, Msc**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SEDE TUNJA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN HIDROAMBIENTAL**

**2020**



**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Tunja, 20 de Noviembre del 2020**



## DEDICATORIA

*Primeramente le agradezco a Dios por ser el motor principal en mi vida, por acompañarme y permitirme confiarle mis anhelos con la certeza de que estos se materializarán. Les agradezco a mis padres porque desde muy pequeña me enseñaron el significado de perseverar y luchar por nuestros sueños, le dedico esta tesis a mi padre Antenor Orozco y a Erika Coronell, quienes me permitieron darme cuenta que el dinero no tiene validez si no lo ganas con amor; a mi madre y hermanos, por siempre acompañarme y contar con ellos, porque fueron mis primeros compañeros de vida y quienes me enseñaron desde el momento que nací lo esencial que es un equipo.*

*Sé muy bien que el amor puede distraer pero en mi caso me sirvió de impulso para seguir adelante en cada caída por ello le agradezco a Jose Luis porque a pesar de todos mis fallos siempre creyó en mí y me hizo confiar en mí misma y a sido mi compañero eterno en estos 16 años, amor gracias por tu cariño, por sacrificarte, porque primero fuera yo, por tu esfuerzo, por tu comprensión, por tu amistad y por creer en mis capacidades, te amo inmensamente.*

*Así mismo quiero dedicar este trabajo a mis hijas Ela y Abby, las cuales me enseñaron a conocer el amor de una forma diferente, por ser mi motor, mi silla, mi descanso y que me motiven a luchar y a superarme cada día mas por ellas y a mi Dios que me de salud y vida para ser un excelente ejemplo para ellas, las amo con mi todo ser mi chirriquitica y mi grandulona.*

*Agradezco profundamente a todos esos docentes que me acompañaron a lo largo de este proceso, quienes me guiaron y forjaron como una profesional integra en mi área. Agradezco a mis tutores Sully Segura, Camilo Lesmes y Juan Pablo Gonzalez por prestarme su tiempo y por todas sus apreciaciones. Estoy profundamente agradecida con la vida y con el destino. Nunca me alcanzarán las palabras para expresar esta enorme dicha. Sencillamente gracias.*



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la comunidad de Samacá, al Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología e Innovación Francisco José de Caldas, al Ministerio de Ciencias, Programa Colombia Bio y la Gobernación de Boyacá por financiar al proyecto “Plataforma Comunitaria para el Monitoreo de la Calidad de Agua en la región de Samacá” convocatoria 794.





## RESUMEN

El departamento de Boyacá cuenta con una enorme riqueza en recursos hídricos. A pesar de estas enormes potencialidades, la calidad del agua y su suministro en la región está siendo amenazada por numerosos factores tales como los cultivos agrícolas, la ganadería, la tala y reemplazo de vegetación nativa, así como el inadecuado uso del recurso en explotaciones carboníferas.

Para la cuenca se requiere un diagnóstico ambiental que identifique las actividades y costumbres que pueden generar fuentes de contaminación. Un buen diagnóstico de calidad está basado en índices o escalas que muestran la capacidad de contaminación de la actividad presente. Estas escalas de calidad de agua son una herramienta de compresión e interpretación que permite mostrar el grado de contaminación que el agua tiene y el uso para el cual se recomendaría.

El presente trabajo está orientado en realizar un diagnóstico en el Municipio de Samacá, en los embalses (Gachaneca I y Gachaneca II), el río Gachaneca y 2 canales principales revestidos. Estas estructuras hídricas soportan la economía de la región basada principalmente en la agricultura, la minería y la ganadería. El diagnóstico se llevará a cabo mediante análisis de parámetros los cuales son: la temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, coliformes fecales, nitratos, fosfatos, DBO5, fósforo total, dureza, alcalinidad, porcentaje de saturación de oxígeno, DBO, DQO e identificación de los macroinvertebrados.

De este modo, se busca caracterizar, esquematizar y evaluar la fuente hídrica del Río Gachaneca de forma integral en cuanto a su calidad, teniendo en cuenta la aplicación de metodologías físico, químicas, biológicas y bioindicadores, con el fin de identificar el grado de contaminación generado de las actividades antrópicas presentes, aportando al conocimiento de la biodiversidad de las poblaciones de macroinvertebrados en el cuerpo de agua del área de



influencia directa; así como proponer alternativas sostenibles para la mitigación del impacto ambiental.

Es importante mencionar que este proyecto facilitaría un monitoreo constante que contará con la ayuda de la comunidad, ellos cargarán datos a la Plataforma Bio de temperatura, oxígeno disuelto, PH y conductividad por medio de sensores que estarán en la fuente hídrica para la realización de modelamientos de calidad del agua.

**Palabras Claves:** Agua, Calidad, Índices de Calidad, Bioindicadores.



## ABSTRACT

The department of Boyacá has an enormous wealth of water resources. Despite these enormous potentialities, the quality of the water and its supply in the region is being threatened by numerous factors such as agricultural crops, livestock, the felling and replacement of native vegetation, as well as the inadequate use of the resource in coal mining.

For the basin, an environmental diagnosis is required to identify the activities and customs that can generate sources of contamination. A good diagnosis is based on indices, or scales that show the contamination capacity of the present activity. These water quality scales are tools for comprehension and interpretation that allow to show the degree of contamination in water, which also allows to make recommendations for potential uses.

This work is aimed for making a diagnosis in the Municipality of Samacá in the reservoirs (Gachaneca I and Gachaneca II), the Gachaneca river and 2 main lined channels. These water structures support the region's economy based mainly on agriculture, mining, and livestock. The diagnosis will be carried out using the following parameters:: temperature, turbidity, pH, dissolved oxygen, total dissolved solids, fecal coliforms, nitrates, phosphates, BOD5, total phosphorus, hardness, alkalinity, percentages of oxygen saturation, BOD, COD, plus an identification of macroinvertebrates.

In this way, it seeks to characterize, schematize and evaluate the water source of the Gachaneca River in an integral way in terms of its quality, taking into account the application of physical, chemical, biological and bioindicator methodologies, in order to identify the degree of contamination generated from the anthropic activities in this area, contributing to the knowledge of the biodiversity of macroinvertebrate populations in the water bodies of direct influence; as well as proposing sustainable alternatives to mitigate environmental impacts.



It is important to mention that with this project a constant monitoring will be easier and useful for authorities and community. They will upload data in the Bio Platform such as: temperature, dissolved oxygen, PH and conductivity by means of sensors that will be in the water for modeling water quality parameters.

**Keywords:** Water, Quality, Quality Indices, Bioindicators.



## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo General. ....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3. PROBLEMA.....	4
4. JUSTIFICACIÓN. ....	6
5. MARCO REFERENCIA.....	8
5.2 Marco Conceptual.....	12
5.2.1 <i>Cuenca Hidrográfica</i> .....	12
5.2.2 <i>Fuentes Contaminantes</i> .....	13
5.2.3 <i>Calidad del Agua</i> .....	14
5.2.4 <i>Parámetros de Calidad del Agua</i> .....	15
5.2.5 <i>Índices de Calidad del Agua</i> .....	20
5.2.6 <i>Bioindicación</i> .....	25
5.2.7 <i>Macroinvertebrados acuáticos</i> .....	25
5.2.8 <i>Índice biológico de calidad de agua</i> .....	30
5.3 MARCO LEGAL.....	34
5.4 ANTECEDENTES.....	37
6. METODOLOGÍA.....	46
6.1 Descripción del Área de Estudio.....	47
6.2 Ubicación de los Puntos de Muestreo.....	48
6.3 Recolección de Muestras.....	54
6.4 Índices de Calidad del Agua – Análisis Físicoquímicos.....	55
6.5 Identificación de los Macroinvertebrados.....	59
6.6 Análisis Ecológico de Especies y Comparación con Bibliografía.....	60
6.7 Caracterización y Esquematización de la Cuenca del Río Gachaneca.....	70
6.8 Alternativas de Sostenibilidad.....	70
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	72
7.1 Caracterización y Esquematización del Río Gachaneca.....	72
7.2.1 <i>Variables Físicoquímicas</i> .....	80
7.2.2 <i>Índice de Calidad del Agua – ICA e IRCA</i> .....	90



7.2.3 Índice de Contaminación – ICO'S .....	95
7.2.4 Composición Taxonómica de la Comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos.....	98
7.2.5 Análisis Ecológico de Especies. ....	106
7.2.5.1 Índices de Biodiversidad.. .....	106
7.2.5.2 Índices Biológicos.....	119
7.2.6 Discusión de los Resultados Estadísticos y Correlación entre los Parámetros Físicoquímicos y Macroinvertebrados Acuáticos.....	123
7.3 Alternativas Sostenibles para el Mejoramiento de la Calidad del Agua. ....	133
8. CONCLUSIONES.....	139
9. RECOMENDACIONES .....	144
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146
ANEXOS.....	180



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del ICA propuesto por Brown.....	21
Tabla 2. Clasificación de calidad de agua en función de índices de contaminación ICO´S. ....	23
Tabla 3. Clasificación del cuerpo de agua según su concentración de P total. ....	24
Tabla 4. Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/COL. De acuerdo a los valores originales de BMWP y ajustados por Roldan (2003) para Colombia. 32	
Tabla 5. Clasificación de las aguas, significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/COL y colores para representaciones cartográficas. ....	32
Tabla 6. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice ASTP.....	33
Tabla 7. <i>Escala de Valores Índice EPT</i> .....	34
Tabla 8. Descripción del marco normativo aplicable al desarrollo del estudio.....	35
Tabla 9. Ubicación georreferenciada de las estaciones de muestreo en la microcuenca Gachaneca.....	48
Tabla 10. Ubicación de las 6 estaciones de monitoreo en la microcuenca Gachaneca.....	49
Tabla 11. <i>Clasificación IRCA</i> .....	56
Tabla 12. <i>Descriptores de Calidad del ICA</i> .....	57
Tabla 13. Métodos implementados en el laboratorio para el análisis de los parámetros fisicoquímicos. ....	59
Tabla 14. Índices de Biodiversidad. ....	60
Tabla 15. Clasificación de dominancia de Simpson. ....	62
Tabla 16. Índice de Diversidad de Simpson.....	62
Tabla 17. Clasificación de Diversidad de Shannon – Weaver (1949).....	62
Tabla 18. Índice de Diversidad de Shannon. ....	63
Tabla 19. Clasificación de Equidad de Pielou (1966). ....	63
Tabla 20. Índice de Diversidad de Margalef.....	64
Tabla 21. Valores de sensibilidad para las diferentes familias de macroinvertebrados. ....	64
Tabla 22. Índice de sensibilidad para determinar la calidad de agua. ....	65
Tabla 23. <i>Índice de similitud de Jaccard</i> .....	65
Tabla 24. <i>Escala de Valores Índice EPT</i> .....	67
Tabla 25. Clase y valores ABI, Criteríos de Calidad.....	68
Tabla 26. <i>Clases de calidad de agua y valores ABI</i> . ....	69
Tabla 27. Resumen de los datos monitoreados con el equipo Hanna HI9819. ....	81
Tabla 28. Parámetros de calidad del agua monitoreados y clasificación de los índices ICA e IRCA.....	81
Tabla 29. Parámetros de calidad del agua y cálculo de los índices ICA e IRCA.....	83
Tabla 30. Parámetros de calidad del agua monitoreados para el período de verano. ....	85
Tabla 31. Parámetros de calidad del agua monitoreados para el período de invierno.....	87
Tabla 32. Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice ICA para la época de verano. ..	90
Tabla 33. Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice IRCA para la época de verano. 91	
Tabla 34. Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice ICA para la época de invierno. 93	
Tabla 35. Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice IRCA para la época de invierno. ....	93
Tabla 36. Índices de contaminación ICO´S para la época de verano e invierno. ....	96



Tabla 37. Abundancia Absoluta (Ind/m <sup>2</sup> ) de macroinvertebrados bentónicos en la época de verano. ....	100
Tabla 38. Abundancia Absoluta (Ind/m <sup>2</sup> ) de macroinvertebrados bentónicos en la época de invierno. ....	101
Tabla 39. Índices de diversidad para las estaciones de monitoreo en época de verano. ....	107
Tabla 40. Índices de diversidad para las estaciones de monitoreo en época de invierno. ....	108
Tabla 41. Índice de Jaccard para la época de verano. ....	114
Tabla 42. Índice de Jaccard para la época de invierno. ....	114
Tabla 43. Resultados obtenidos de los índices biológicos (ABI, BMWP/COL y ASPT). ....	120
Tabla 44. Índices de Sensibilidad para la época de verano e invierno. ....	123
Tabla 45. Componentes principales y porcentaje acumulado para la época de verano. ....	125
Tabla 46. Componentes principales y porcentaje acumulado para la época de verano. ....	125
Tabla 47. Componentes principales y porcentaje acumulado para la época de invierno. ....	127
Tabla 48. Componentes principales y porcentaje acumulado para la época de verano. ....	128
Tabla 49. Nivel de agrupamiento en ejes del análisis de ACC para la época de verano. ....	130
Tabla 50. Nivel de agrupamiento en ejes del análisis de ACC para la época de invierno. ....	131
Tabla 51. Alternativas sostenibles para los parámetros en estado críticos. ....	135



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología aplicada. Se evidencia las cuatro fases que se implementarlos para el desarrollo del estudio investigativo. ....	46
Figura 2. Ubicación del área de estudio. Se evidencia la localización de la microcuenca del Río Gachaneca.....	47
Figura 3. Ubicación espacial de las estaciones de muestreo.....	50
Figura 4. Punto 1 de muestreo – Río Gachaneca (Aguas Abajo Embalse).....	51
Figura 5. Punto 2 de muestreo – Aguas provenientes de la Empresa Acerías Paz del Río. ....	51
Figura 6. Punto 3 de muestreo – La Carpintería.....	52
Figura 7. Punto 4 de muestreo – Empresa GFC. ....	52
Figura 8. Punto 5 de muestreo – Puente de Samacá.....	53
Figura 9. Punto 6 de muestreo – Intersección vía principal.....	53
Figura 10. Envases utilizados durante los muestreos del Laboratorio Analizar Ltda. ....	55
Figura 11. Categorización de los índices de calidad del agua – ICA. ....	56
Figura 12. Macroinvertebrados identificados en la cuenca del Río Gachaneca en época de invierno.....	60
Figura 13. Esquema del cauce del Río Gachaneca. ....	75
Figura 14. Esquema del suministro de acueducto del cauce del Río Gachaneca.....	76
Figura 15. Esquema de las extracciones industriales y para uso de riego del cauce del Río Gachaneca.....	77
Figura 16. De los descargues de aguas residuales del cauce del Río Gachaneca.....	78
Figura 17. Mapa de riesgo e índice de la Calidad del Agua de la microcuenca del Río Gachaneca.....	82
Figura 18. Calidad del agua mediante índices ICA e IRCA para 14 puntos de monitoreo. ....	84
Figura 19. Cambios en las variables fisicoquímicas del agua en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca del Río Gachaneca en la época de verano e invierno.....	89
Figura 20. Calidad del agua mediante índices ICA e IRCA para 6 puntos de monitoreo en época de verano. ....	92
Figura 21. Calidad del agua mediante índices ICA e IRCA para 6 puntos de monitoreo en época de invierno.....	94
Figura 22. Índices de contaminación ICO´S para la época de verano.....	96
Figura 23. Índices de contaminación ICO´S para la época de invierno. ....	97
Figura 24. Distribución y abundancia relativa (Ind/m <sup>2</sup> ) de los diez taxones de macroinvertebrados bentónicos más abundantes y sus sitios de monitoreo en la época de verano. ....	102
Figura 25. Distribución y abundancia relativa (Ind/m <sup>2</sup> ) de los diez taxones de macroinvertebrados bentónicos más abundantes y sus sitios de monitoreo en la época de invierno.....	102
Figura 26. Abundancia relativa de familias por sitios de monitoreo en época de verano.....	103
Figura 27. Abundancia relativa de familias por sitios de monitoreo en época de invierno. ....	104
Figura 28. Abundancia total de macroinvertebrados bentónicos para la época de verano e invierno.....	106
Figura 29. Índices de diversidad biológica aplicados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en época de verano. ....	107



Figura 30. Índices de diversidad biológica aplicados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en época de invierno.....	109
Figura 31. Índices de dominancia para la época de verano e invierno. ....	110
Figura 32. Índices de Simpson para la época de verano e invierno. ....	111
Figura 33. Índices de Shannon para la época de verano e invierno. ....	111
Figura 34. Índices de Margalef para la época de verano e invierno. ....	112
Figura 35. Índice de Jaccard para la época seca y de lluvia. ....	116
Figura 36. Dendrograma e similitud para las familias de macroinvertebrados acuáticos basados en el índice de Bray – Curtis para la época de verano. ....	117
Figura 37. Dendrograma e similitud para las familias de macroinvertebrados acuáticos basados en el índice de Bray – Curtis para la época de invierno. ....	118
Figura 38. Comparación de los resultados de los Índice ICA, BMWP/COL y ASPT, para época de verano. ....	120
Figura 39. Comparación de los resultados de los Índice ICA, BMWP/COL y ASPT, para época de invierno.....	121
Figura 40. ACP de las variables in situ fisicoquímicas para la época de verano.....	124
Figura 41. ACP de las variables físicas y químicas para la época de verano. ....	125
Figura 42. ACP de las variables in situ fisicoquímicas para la época de invierno. ....	126
Figura 43. ACP de las variables físicas y químicas para la época de invierno.....	128
Figura 44. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de las variables físicas y químicas con los 10 taxones más representativos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la época de verano. ....	129
Figura 45. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de las variables físicas y químicas con los 10 taxones más representativos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la época de invierno.....	131



## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Registro Fotográfico.

ANEXO B. Toma de Datos de Campo In-Situ.

ANEXO C. Toma de Datos de Campo por Laboratorio – Época de Verano.

ANEXO D. Toma de Datos de Campo por Laboratorio – Época de Invierno.

ANEXO E. Resultados de Laboratorio – Época de Verano.

ANEXO F. Resultados de Laboratorio – Época de Invierno.

ANEXO G. Identificación de Macroinvertebrados Bentónicos.

ANEXO H. Cálculo de Índices Biológicos para Macroinvertebrados Acuáticos.

ANEXO I. Usuarios de Acueducto de la Microcuenca del Río Gachaneca.



## GLOSARIO

**Agua residual doméstica:** aguas residuales de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana como la preparación de alimentos y el aseo personal (NTP,2012).

**Agua residual no doméstica:** Descarga de líquidos producidos por alguna actividad económica comercial e industrial, distintos de los generados por los usuarios domésticos, quienes descargan aguas residuales producto de la preparación de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos (MVCS, 2015).

**Agua superficial:** Son las aguas que se encuentran sobre la superficie del suelo, pueden ser corrientes, que se mueven en una misma dirección y circulan continuamente o aguas estancadas que provienen de precipitaciones, deshielos o nieve que no se infiltra ni regresa a la atmósfera (NTP,2012).

**Aluminio:** Es el tercer metal más abundante en la Tierra, se encuentra en minerales como la bauxita y la bohemita, tiende a asimilarse como hidróxido, especialmente como reemplazo del calcio, otra fuente de aluminio es la producida por el uso de insecticidas a base de fosfato de aluminio (Nordberg et al., 2013).

**Arsénico:** Se encuentra en la naturaleza combinado con otros metales, su presencia en el agua se debe frecuentemente por la erosión de rocas volcánicas o superficiales que lo contengan, la principal fuente de arsénico como contaminante de ríos es la actividad antropogénica, entre las que destaca la refinación y producción/uso de plaguicidas a base de este metaloide (Nordberg et al., 2013).



**Cadmio:** Elemento metálico que se encuentra en la naturaleza asociado a otros metales (plomo y zinc) considerado muy tóxico y se acumula principalmente en los huesos. Por lo general las concentraciones de este metal en aguas de río son menores a 5 ppm (Lilia, 2011).

**Coliformes Termotolerantes (fecales):** Son aquel grupo de bacterias que son capaces de fermentar la lactosa a 44-45 °C, entre ellas está la E. Coli, y otros géneros como el Citrobacter, Klebsiella y Enterobacter (MVCS, 2015).

**DBO5:** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C) (MVCS, 2015).

**DQO:** Es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante, sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (MVCS, 2015).

**Hierro:** Es el cuarto elemento metálico más abundante sobre la Tierra, fácilmente oxidable en presencia de oxígeno. Su sobredosis en forma aguda puede ser amenazante, asimismo su consumo en sobredosis en forma crónica puede conllevar daños en hígado y corazón por su acumulación (Nordberg et al., 2013).

**ICA:** El índice de calidad del agua – ICA, es un número (entre 0 y 1) que señala el grado de calidad de un cuerpo de agua, en términos del bienestar humano independiente de su uso. Este número es una agregación de las condiciones físicas, químicas y en algunos casos microbiológicas del cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación. (IDEAM,2020)

**Laboratorio acreditado:** Laboratorio que cuenta con el reconocimiento del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de conformidad a lo expuesto en la Resolución 0268 de 06 de marzo 2015 Por la cual se modifica la resolución 0176 de 2003 y 1754 de



2008, y se establecen los requisitos y el procedimiento de acreditación de organismos de evaluación de la conformidad en matrices ambientales, bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025 en Colombia. (IDEAM, 2020).

**Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos:** Proceso que permite obtener la medición de la calidad de los cuerpos naturales del agua con el objetivo de realizar el seguimiento y control de la exposición de los contaminantes y su afectación a los diferentes usos de agua y a los sistemas acuáticos (SIAC,2020)

**Muestra de agua:** parte representativa del material a estudiar en el cual se analizarán los parámetros de interés. (Higiene Ambiental, 2020).

**Muestra puntual:** Consiste en la toma de una porción de agua en un punto o lugar determinado para su análisis individual (IDEAM, 2017).

**Multiparámetro (Equipo multiparamétrico):** Instrumento que mide simultáneamente varios parámetros como pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto directamente en el cuerpo de agua (IDEAM, 2017).

**Preservación de muestra:** Procedimiento usado para estabilizar una muestra de forma tal que las propiedades bajo prueba se mantengan estables desde el muestreo hasta la preparación para el análisis (IDEAM, 2017).

**Punto de monitoreo:** Ubicación geográfica en una zona específica de un cuerpo de agua donde se realiza la toma de muestras de parámetros para la determinación de la calidad del agua (IDEAM, 2017).

**Recurso hídrico:** Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los que vienen asociados con esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable (IDEAM, 2017).



## 1. INTRODUCCIÓN.

La calidad del agua de una cuenca hidrográfica puede verse afectada por varios factores antrópicos o naturales, así como la interacción entre ellos (Pérez-Ortega, et al., 2016). Por lo tanto, los valores de referencia que reflejan la calidad del agua deben ser establecidos, preferentemente a través del monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos (Haddad, 2007). De lo anterior se debe definir una red de monitoreo para identificar las áreas críticas o alteradas para realizar muestreo de temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, coliformes fecales, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y fósforo total. Estos parámetros son útiles para el análisis de la metodología del cálculo del índice de calidad de agua – ICA y así analizar el grado de contaminación de la cuenca del Río Gachaneca clasificándola en la escala de calidad.

En el Río Gachaneca se debe evaluar y definir los Índices de Calidad Ambiental debido a la presencia de diferentes actividades antrópicas que se encuentran en su cuenca, además teniendo en cuenta las dudas que existen en la comunidad respecto a la calidad y monitoreo del agua del río.

El ICA se ha convertido en un instrumento fundamental para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico, integra información de varios parámetros de calidad de agua y se presenta en diferentes metodologías. Así mismo puede ser utilizado como herramienta matemática para transformar grandes cantidades de datos sobre la calidad del agua en una escala de medición única. (Castro-Almeida-Ferrer, 2014).

Como estrategia de investigación con el proyecto se pretende involucrar en la evaluación de la calidad del agua los bio indicadores (macro invertebrados acuáticos), con el fin de disminuir costos en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua y también realizar mayor monitoreo en los puntos críticos de contaminación en la cuenca por parte de las comunidades.



Este proyecto busca evaluar la calidad del agua de forma integral haciendo una inclusión de macroinvertebrados acuáticos con los índices ICA, ICO'S y BMWP/COL y así buscar una correlación entre estos parámetros y su influencia en el análisis de la calidad del agua.

Las comunidades en la actualidad deben apropiarse de sus problemáticas, una de estas es el deterioro de calidad de agua de una cuenca hidrográfica por actividades antrópicas, al día de hoy teniendo análisis de los laboratorios hechos por el Gobierno y por la comunidad académica, no existe una correlación ni coordinación que demuestre una evaluación integral de presencia de contaminantes, este proyecto sirve como herramienta para las autoridades ambientales y la comunidad, buscando que la buena calidad del agua de la cuenca sea constante y veraz.



## **2. OBJETIVOS.**

### **2.1 Objetivo General.**

Evaluar integralmente la calidad del agua del área de influencia directa del Río Gachaneca del Municipio de Samacá.

### **2.2 Objetivos Específicos.**

1. Caracterizar el Río Gachaneca, ubicado en el Municipio de Samacá, teniendo en cuenta las actividades socioeconómicas, domésticas y el uso del suelo.
2. Evaluar integralmente la calidad del agua teniendo en cuenta parámetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos.
3. Proponer alternativas de soluciones sostenibles para el mejoramiento de los parámetros de calidad del agua.



### 3. PROBLEMA.

A pesar de los millonarios ingresos y generación de fuentes de trabajo producto de la minería para todo el país, en las regiones mineras la explotación del combustible fósil afecta las fuentes de agua naturales con las que las comunidades se abastecen, siendo una amenaza a la salud pública. Con la débil estructura y programas de monitoreo de las autoridades gubernamentales quedan dos caminos para conocer el impacto real de la minería en recursos hídricos, el primero es aceptar los reportes de las empresas mineras y el segundo realizar estudios integrales asequibles a las comunidades que les permita generar programas y acciones sobre sus regiones. Esta última requiere capacitar a las comunidades con tecnología y herramientas que permitan no solo coleccionar sino presentar los datos para generar programas y acciones sobre sus regiones (Güiza Suárez, L. 2011), (Peña Robles, J.E. 2017).

Durante el proceso de extracción y procesamiento del carbón intervienen una serie de acciones que producen significativos impactos ambientales en el entorno y que perduran en el tiempo más allá de la duración de las operaciones de extracción. En el momento en que las minas son abandonadas, el agua de lluvia erosiona la roca expuesta causando la oxidación de minerales como sulfuros metálicos. En lo que concierne al proceso de beneficio del carbón (para uso en centrales de energía o coquización), típicamente es realizado un proceso de remoción de polvo e impurezas mediante un proceso de lavado, en donde se utilizan grandes cantidades de agua, la cual queda con altas cantidades de material en suspensión y contaminación por minerales, principalmente sulfuros. Esta reacción libera hierro, aluminio, cadmio y cobre entre otros minerales en los sistemas de aguas circundante o acuíferos contaminando para consumo humano (Acosta Bueno, 2016).

Por otro lado, las actividades industriales y agricultura han surgido por la necesidad de producción de alimentos, aumentando el uso de fertilizantes y pesticidas para obtener y mantener



altos rendimientos. Esta actividad causa impactos en la degradación de los recursos hídricos mediante la erosión y residuos agroquímicos y anegamiento de cultivos. Cabe resaltar que dentro de la práctica agrícola es regular evidenciar el uso de agua residual contaminada que afecta los cultivos y transmite enfermedades a los consumidores y agricultores.

Este panorama es preocupante para las comunidades quienes deben apropiarse de esta problemática y no ser solo víctimas, debido a que la calidad del agua del distrito de riego de la región está comprometida. Aun teniendo los reportes del estado y de la comunidad académica no existen correlaciones entre monitoreo local y análisis de agua en laboratorios certificados que puedan explicar la presencia de contaminantes. Por tal motivo, en este proyecto se realizará una evaluación integral de la calidad del agua de la cuenca del Río Gachaneca, con el fin de evaluar los indicadores de calidad ICA, ICO'S y BMWP/COL de la fuente hídrica; estos parámetros permiten el estudio desde el punto de vista físico, químico, biótico y microbiológico del agua para conocer la contaminación del Río Gachaneca en el área de influencia directa.

#### 4. JUSTIFICACIÓN.

El municipio de Samacá (Boyacá) presenta un ecosistema vulnerable el cual está bajo amenaza crítica. Por tal motivo es importante que la comunidad cuente con una evaluación integral de la calidad del agua del Río Gachaneca y que manejen una información actualizada, asertiva de su entorno y de cómo sus actividades antrópicas pueden cambiar su ecosistema. Así la comunidad alcanza a tener una visión holística para conocer la calidad del agua y que esta sea real, veraz y eficaz para identificar las posibles zonas de riesgo.

Lo anterior se plantea teniendo en cuenta los resultados de los parámetros de calidad del agua (ICA, IRCA e ICO) como los resultados de los índices biológicos (BMWP/COL, ABI, ASPT), para determinar la correlación existente entre los parámetros fisicoquímicos y los bioindicadores. A pesar que en Colombia, los estudios en bioindicación con macroinvertebrados acuáticos, datan aproximadamente desde los años 70's (Álvarez & Roldán, 1983; Arango & Roldán, 1983; Roldán, 2009). El Municipio de Samacá está en desventaja ya que carece de este tipo de estudio, en donde los bioindicadores son de gran importancia para la evaluación ambiental porque estos reaccionan de una manera concreta ante ciertos agentes contaminantes y están íntimamente ligado al proceso de adaptación a lo largo de toda la evolución de la vida de los macroinvertebrados acuáticos en un afluente hídrico desde el punto de vista de tolerancia de las especies a la contaminación (Lievano, 2007).

El presente trabajo permitirá inicialmente **caracterizar el cauce del Río Gachaneca**, para así conocer el área de influencia directa, los suministros, extracciones y descargues que pueden llegar afectar el cauce, así como las actividades socioeconómicas presentes en el área. Adicional **evaluar integralmente la calidad del agua** teniendo en cuenta parámetros fisicoquímicos, hidrobiológicos y su correlación con los bioindicadores; para finalmente, **proponer posibles**



**alternativas sostenibles** que concreten la mejora y conservación de la fuente hídrica en el tiempo.



## 5. MARCO REFERENCIA.

### 5.1 Marco Teórico.

El agua es un factor clave para determinar el desarrollo social y económico en un territorio, además es la base para la protección de los ecosistemas. Es un recurso vital y es por esta razón que se debe hacer todo lo posible para mantener su calidad, lo cual implica responsabilidades de la gestión pública para mantener su conservación y control de uso adecuado. Según la “Global Water Partnership (GWP 2016)” (Asociación Mundial por el Agua), uno de los desafíos más graves ante los que se encuentra el mundo de hoy es la crisis del agua que se avecina y en efecto, en el siglo pasado la demanda mundial sobre los recursos hídricos se multiplicó por más de seis mientras que la población del planeta se triplicó. De no mejorar la gestión de los recursos hídricos y los ecosistemas conexos, se estima que para los 2025 dos tercios de la población mundial padecerá problemas de penuria de agua, con escasez grave o moderada, (Martinezvillalejo,2018).

Los diversos usos del suelo por el hombre alteran los procesos biológicos, físicos y químicos de los sistemas naturales y contribuyen a la reducción de la calidad del agua (Oliveira-Filho, et al., 2012). Existen características inherentes de una determinada cuenca hidrográfica que puede contribuir o potenciar la degradación ambiental en sus recursos hídricos, de ahí la importancia de determinar mediante índices e indicadores, como los cambios en el uso de la tierra, acompañados de las actividades antrópicas, ejercen una presión ambiental en estos recursos (Pérez-Ortega, et al., 2016). Para determinar los indicadores de calidad se debe realizar un diagnóstico y caracterización ambiental del área en estudio, así como el análisis de parámetros de las actividades socioeconómicas para identificar qué tipo de agentes externo a las practicas que puedan llegar afectar el recurso hídrico.



El ecosistema lotico está expuesto a contaminación por fuentes orgánicas e inorgánicas, las cuales modifican la fisicoquímica del agua que tienen consecuencias en la salud de los seres vivos que se abastecen de ella; Actualmente las fuentes de agua están sometidos a descargas de contaminantes individuales (actividad económica) o poblacional de tipo bioquímica y fisiológica. El daño que causa al ecosistema depende del tiempo de exposición e intensidad. Un indicador puede ser cualitativo o cuantitativo y sirve como una medida fisicoquímica, biológica o socioeconómica para evaluar el estado de la calidad del agua. Para determinar la concentración toxica sea esta de origen orgánico, inorgánico o de influencia humana se implementan los bioindicadores los cuales indican la condición medioambiental del cuerpo de agua. Estudios en alternativas de monitoreo de calidad de agua (Ospino-Peña, 2004), definen que los bioindicadores ideales son las especies que son relativamente fáciles de observar, de recoger, de reconocer, y que son suficientemente abundantes para permitir el muestreo repetible.

La calidad del agua de una cuenca hidrográfica puede verse afectada por varios factores antrópicos o naturales, así como la interacción entre ellos (Pérez-Ortega, et al., 2016). Por lo tanto, los valores de referencia que reflejan la calidad del agua deben ser establecidos, preferentemente a través del monitoreo de los parámetros físicos, químicos y biológicos (Haddad, 2007). De lo anterior se debe definir una red de monitoreo para identificar las áreas críticas o alteradas para realizar muestreo de temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, coliformes fecales, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y fósforo total. Estos parámetros son útiles para el análisis de la metodología del cálculo del índice de calidad de agua – ICA y así analizar el grado de contaminación de la cuenca del Río Gachaneca clasificándola en la escala de calidad. El ICA se ha convertido en un instrumento fundamental para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico, integra información de varios parámetros de calidad de agua y se presenta en diferentes metodologías. Así mismo puede ser utilizado como herramienta matemática para transformar grandes cantidades de datos sobre la



calidad del agua en una escala de medición única. (Castro-Almeida-Ferrer, 2014). Para el caso del Río Gachaneca se debe evaluar y definir los Índices de Calidad Ambiental teniendo en cuenta las actividades antrópicas que se encuentran en las márgenes del río.

El término de calidad biológica en este contexto contempla la evaluación de la calidad acuática mediante el estudio de la composición y estructura de comunidades biológicas. Para afirmar que un medio acuático presenta una buena calidad biológica, es porque dentro de él se presentan unas características naturales que le permiten a estas comunidades desarrollarse (Niño, 2018). En términos generales, la calidad biológica indica los cambios estructurales medidos mediante la comunidad de organismos (en este caso macroinvertebrados) y el estado ecológico que tiene un sentido más amplio, pues además de la calidad biológica integra otros cambios a nivel del ecosistema como la hidrología, la hidromorfología, la fisicoquímica (trabajada en este proyecto), o en la vegetación de ribera (Acosta et al., 2009).

En Colombia, los estudios en bioindicación con macroinvertebrados acuáticos, datan aproximadamente desde los años 70's en la universidad de Antioquia, desarrollándose estudios sobre la limniología de ríos y quebradas de esta región, (Álvarez & Roldán, 1983; Arango & Roldán, 1983; Roldán, 2009). Estos estudios constituyen la base para la elaboración de una guía taxonómica y ecológica sobre los macroinvertebrados acuáticos de Antioquia.

Boyacá es uno de los departamentos rico en recurso hídrico, sin embargo, se ha visto afectado por la alta demanda generada por las poblaciones al ser un departamento que cuenta con 123 municipios, esto ha generado que las poblaciones desarrollen actividades, tales como la ganadería, agricultura, industriales y mineras. Por ello se debe determinar si las actividades antrópicas presentes generan impactos negativos sobre las fuentes hídricas. Las cuencas están caracterizadas por las interacciones geomorfológicas, hidrológicas y biológicas que determinan las comunidades presentes en los ríos, por esto es importante observar los cambios graduales en composición taxonómica, características físicas y químicas.



La composición taxonómica y la estructura de las comunidades de macroinvertebrados son elementos importantes para determinar el grado de afectación producido por diversas perturbaciones ambientales de origen antrópico evaluado con el índice BMWP/Col (Roldán, 2009).

Las principales ventajas por las cuales se consideran los organismos vivos como buenos indicadores de la calidad del agua se mencionan a continuación (Álvarez A. Luisa F, 2005).

- Los datos biológicos responden a situaciones, no a variables únicas. Es más, una respuesta sintética que analítica.
- Los índices biológicos dan testimonio del impacto contaminante durante un período de tiempo más o menos largo, no sólo del momento de la toma de muestras.
- La toxicidad de los contaminantes se estima por sus efectos biológicos, no por su concentración en el agua.
- Permiten la evaluación detallada de la capacidad de respuesta del medio (magnitud del impacto y recuperación).
- Menores costos del seguimiento biológico en comparación con el fisicoquímico, si el número de contaminantes es elevado.
- Los resultados del análisis biológico son fáciles de expresar y de interpretar, son prácticos y sencillos.

Actualmente existen métodos de evaluación de calidad de las aguas de ecosistemas lóticos basados en el estudio de macroinvertebrados que por su sencillez, rapidez y escaso nivel de conocimiento previo que requiere, así como por la fiabilidad de sus resultados los hace idóneos para la vigilancia de este tipo de ecosistemas (Niño, 2018).



## **5.2 Marco Conceptual.**

### **5.2.1 Cuenca Hidrográfica.**

La cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente discurren todas las aguas (aguas provenientes de precipitaciones, de deshielos, de acuíferos, etc. que discurren por cursos superficiales o ríos) hacia un único lugar o punto de descarga (que usualmente es un cuerpo de agua importante tal como un río, un lago o un océano). El ámbito de la cuenca hidrográfica es un espacio territorial natural independiente de las fronteras político-administrativas internas de un país o de fronteras internacionales. (Aguirre, 2011). Las cuencas hidrográficas son divisiones naturales del paisaje. Debido a la topografía y delimitación del parteaguas, el agua drena a través de corrientes superficiales a un punto común pudiendo desembocar en el mar, en un cuerpo de agua interior o infiltrarse antes de encontrar algún cuerpo o superficie colector (Cotler et al. 2007a, Maass y Cotler 2007).

Las cuencas de tierras altas en Colombia se denominan cuencas de primer orden, siendo estas las que transforman aguas lluvia en flujos de agua, influyendo en gran parte los flujos de agua zonas abajo del Río. Están fuertemente transformadas debido a la expansión a la agricultura, áreas urbanas, y otras actividades antrópicas (Villa et .al, 2006). El enfoque de cuenca es importante porque el agua constituye el eje integrador del territorio que vincula e interconecta los elementos naturales, sociales y económicos. Las cuencas hidrográficas constituyen las unidades territoriales idóneas para la planeación y gestión de los recursos naturales (Cotler et al. 2010). La dispersión de la contaminación va más allá de los límites administrativos; por ejemplo, los municipales. Es por esto que la calidad del agua en una cuenca es un buen indicador del impacto de las actividades humanas en un determinado territorio. (Torres B, González G, Rustrian E y Houbron E. 2013).



En los andes colombianos la transformación de cuencas por cambios de cobertura a sistemas agrícolas, generan un cambio a nivel de estructuras, composición y funcionamiento del paisaje (Etter y Villa, 2000). Tiene como evidencia alteración en los ciclos hidrológicos, calidad del agua, pérdida y abundancia de especies y en ciertas zonas escasez de agua (Etter y Villa, 2000). La alta fragilidad de las cuencas de tierra alta en los andes colombianos debido a la alta tensión antrópica los hacen sistemas de alta vulnerabilidad frente al cambio climático (Van der Hammen, 1993).

### **5.2.2 Fuentes Contaminantes.**

Un contaminante es una sustancia introducida en el ecosistema que trae efectos negativos al buen estado del recurso (Torres, et al., 2009). El contaminante puede ocasionar daños a la fuente hídrica a corto o largo plazo, lo cual puede llegar a cambiar la tasa de crecimiento de las especies de plantas o animales, así como daños en la salud humana (Torres, et al., 2009). La contaminación de los ríos es la alteración o degradación del estado natural de estos cuerpos de agua por la introducción de sustancias químicas o elementos físicos que amenazan su equilibrio como ecosistema (Escobar, 2002).

La contaminación es un fenómeno de origen antropogénico que afecta de manera sistémica a los ríos y sus ecosistemas asociados. Así, las causas contaminantes de estos importantes cuerpos de agua deben ser interpretadas bajo un enfoque ecosistémico.

En un sentido estructural, las causas son generadas por patrones mundiales de uso, manejo y descarte del agua, asociados a modos de vida insostenibles que priorizan las variables económicas inmediatas sobre las variables ambientales y sociales.

Según el Servicio Nacional Territorial de San Salvador (SNET, 2007), las fuentes de contaminación para los distintos cuerpos hídricos se pueden clasificar en dos categorías: las fuentes puntuales y las fuentes no puntuales. Las fuentes puntuales tienen puntos de descarga definidos y habitualmente son continuas, pueden localizarse e identificarse por ser efluentes



procedentes de una tubería o grupo de tuberías. Principalmente estos son provenientes de vertidos municipales y vertidos industriales. La fuente no puntual tiene origen disperso de la descarga, significa que es imposible relacionar la descarga con un lugar específico y definido; por ejemplo, existen casos donde la fuente puede ingresar al río por escorrentía superficial, como en descargas agrícolas. Las principales fuentes no puntuales son agrícolas, forestales, atmosféricas y por escorrentía (Canter, 2002). Otra clasificación de acuerdo con Olmos (2003), las principales fuentes de contaminación del agua se agrupan de acuerdo con su procedencia y pueden ser clasificadas en 4 grandes grupos:

- Urbanas o sociales
- Industriales
- Agropecuarias
- Naturales

### **5.2.3 Calidad del Agua.**

De acuerdo con Sierra (2011), los cuerpos de agua se pueden caracterizar analizando tres componentes: hidrología, características fisicoquímicas y la parte biológica. Para llevar a cabo un análisis y evaluación completa de calidad del agua, es necesario monitorear estos tres componentes. La calidad de agua es cualquier límite fijado de variación o alteración del estado del agua, evaluado expertamente, en base a datos científicos, para el cual no hay ningún tipo de efectos, habitualmente desfavorables, en su uso por el hombre o para los organismos que lo habiten (Warren, 1971; citado en Tejero, et al., 2001).

Según (Jauregui A, 2019) el concepto aplica en relación al uso que se va a hacer del recurso, por lo que el concepto de calidad varía de acuerdo al uso que se va a dar. Es por ello que se dijo que el concepto va a tomar distintas interpretaciones dependiendo de quién se lo plantee, mas no podemos desligar la idea de la importancia que representa mantener la calidad del agua para el



hombre, puesto que tiene una relación directa con las actividades que este realiza. La alteración de la calidad del agua va a conllevar un impacto directo al hombre; siendo varios los problemas derivados de la contaminación de cuerpos de agua, como son: la reducción del suministro de agua dulce, riesgos en la salud, la inutilización del uso de agua para diversos usos, el impacto negativo sobre la vida acuática son algunos de los efectos asociados a la calidad del agua (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1992).

Actualmente la mayoría de las fuentes hídricas a nivel mundial y de Colombia están deterioradas por diferentes actividades antrópicas que se realizan para obtener un progreso, entre estas actividades se puede encontrar la utilización de pesticidas y agroquímicos en cultivos y pastizales, la mala gestión de residuos sólidos, la ganadería con pastoreo intensivo, el mal procedimiento de las aguas residuales, la deforestación y la minería entre otras prácticas relacionadas al uso y aprovechamiento de los recursos (Silva, 2008), lo que sobrelleva al deterioro de la calidad del agua produciendo como consecuencia daños en la salud pública, desperfecto en el sistema ecológico acuático y en los lugares de recreación. Un ejemplo de ello se vive en La quebrada Las Delicias, ubicada en los cerros orientales de Bogotá- Colombia, ya que en lo largo de su cauce es vulnerable a impactos por acción antrópica poniendo en riesgo el ecosistema, la calidad del agua, se van a ver afectados los habitantes de las comunidades ya que son las principales personas que se abastecen de la quebrada y demás organismos que allí habitan. (Gracias R. Jeniffer, 2019).

#### **5.2.4 Parámetros de Calidad del Agua.**

Ayudan a conocer con precisión variables físicas, químicas y biológicas de un cuerpo acuático y a su vez el grado de contaminantes en detalle, generalmente un análisis de aguas por métodos fisicoquímicos proporciona una información puntual y transitoria (Neumann, 2004). Los parámetros de calidad del agua están clasificados en físicos, químicos y microbiológicos (Bartram,



y Balance, 1996). Existen varias maneras y métodos para cuantificar dichos parámetros, se ha estandarizado estos criterios y los métodos para realizar los análisis del agua en el laboratorio a partir de la compilación de metodologías de laboratorio por parte de agencias internacionales que investigan la calidad del agua en la publicación *Standard Methods for Water and Wastewater Examination* (Molina, et al., 2012).

La calidad del agua de un sistema hídrico es establecida por medio de análisis realizados a una muestra de agua recogida con las debidas precauciones, siguiendo normas estándar y se cuantifica por medio de la concentración de cada componente analizado (Rodríguez, 2015). A pesar de que existen muchos análisis fisicoquímicos que pueden cuantificarse en los constituyentes y características del agua natural, sólo algunos de ellos pueden determinar la calidad del recurso (Sierra, 2011). El objetivo del índice es transformar los datos complejos de la calidad de agua en términos entendibles para el público en general. El uso de este índice a nivel de “puntuación” se basa en importantes parámetros que proveen información completa del estado del recurso y da una idea general de los posibles problemas que presenta el agua en la región. Los parámetros físicos, químicos y biológicos que constituyen este índice y que son de base de este proyecto son los siguientes. (Forero D. Julián, 2017).

- El PH, como variable fundamental en la calidad del recurso, indica la acidez o basicidad del agua, aquellas menos mineralizadas serán pH ácidos. El pH tiene marcada influencia tanto en procesos biológicos como en procesos químicos. Para cada tipo de organismos existe un intervalo de pH óptimo para su desarrollo, pequeñas variaciones los afectaran y pueden resultar letales. Generalmente aguas en tratamiento sus valores oscilan entre 6,5 y 9,0 (VonHessberg, 2009). En términos ecológicos un pH adecuado permite el crecimiento de microorganismos que realizan los procesos de depuración natural como también el de la fauna y flora que los habitan (Hutchinson, 1975).



- Oxígeno Disuelto, El oxígeno es el elemento primordial para la vida. Constituye aproximadamente el 20% de la atmósfera terrestre y de él depende la respiración de los seres vivos (Fierro, 2001). Así mismo el oxígeno en el agua mantiene la vida de todos los organismos acuáticos aerobios. El O<sub>2</sub> es poco soluble en el agua, su solubilidad varía de 14,6 mg/l a 0°C a 7,0 mg/l a 35°C a presión de 1 atmósfera. El oxígeno disuelto depende también de la actividad física, química y biológica en un cuerpo de agua; la turbulencia o cualquier otro mecanismo físico que facilite el contacto del aire con el agua favorece la disolución del O<sub>2</sub> (Lampert, 1997).
- Temperatura, es un parámetro muy importante en un cuerpo de agua puesto que está relacionado con la actividad biológica, química y con la solubilidad de gases, para los diferentes microorganismos existe un intervalo de temperatura óptimo para su desarrollo y valores fuera de ese intervalo pueden ser perjudiciales (Camargo, 2005). Un cambio repentino en la temperatura puede ocasionar un aumento en la mortalidad de la vida acuática; las reacciones químicas por su parte ocurren a mayor velocidad al aumentar la temperatura; en cuanto a los gases, al aumentar la temperatura disminuye solubilidad, este es un aspecto muy importante si se tiene en cuenta que el oxígeno es indispensable para todos los organismos aeróbicos y que su solubilidad en agua es muy baja (Lampert, 1997).
- Coliformes Fecales, son un parámetro microbiológico que provee información de presencia y abundancia de bacterias del grupo de los Coliformes, conformados por los siguientes géneros (Escherichia, Klebsiella, Enterobacter, y Citrobacter) que se presentan en forma de bacilos, gram negativos, no esporulados, fermentan lactosa con producción de ácido y gas a 44.5 °C +/- 0.2 °C dentro de 24 horas. La especie con más presencia en este grupo es Escherichia Coli (CEPIS, 1978).

Este método estima la abundancia de las bacterias de Coliformes presentes en el agua. Entre mayor sea la concentración de Coliformes en el agua, mayor es la contaminación



por heces fecales de mamíferos, proveniente en su gran mayoría de los humanos. Cuando se quiere conocer la calidad de agua contaminada por descargas domésticas se usa este grupo bacteriano Coliformes como indicador, debido a que estas bacterias no se multiplican generalmente por fuera del organismo (Mara, 1974).

- DBO, La descarga de materia orgánica contaminante en un cuerpo de agua crea una acción de purificación natural a través del proceso de oxidación bioquímica. La oxidación bioquímica es un proceso microbiológico que utiliza las sustancias contaminantes como una fuente de carbón, mientras consume el oxígeno disuelto en el agua para la respiración. La autodepuración de los ríos depende de muchas condiciones, incluida la temperatura y la naturaleza de la materia orgánica (Orjuela, 2013).

La cantidad de oxígeno disuelto consumido por cierto volumen de una muestra de agua, para los procesos de oxidación bioquímica durante un período de cinco días a 20°C ha sido establecido como un método de medición de la calidad de la muestra, y es conocida como prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno o DBO (Orjuela, 2013). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) mide la cantidad de oxígeno necesaria o consumida para la descomposición microbiológica (oxidación) de la materia orgánica en el agua, se define como la cantidad total de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable (CAN, 2005).

La DBO es un indicador importante para el control de la contaminación de las corrientes donde la carga orgánica se debe restringir para mantener los niveles deseados de oxígeno disuelto (Sawyer & McCarty, 2001). El aporte de carga orgánica acelera la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno, provocando que algunas especies de peces y algunas especies de macroinvertebrados ya no puedan vivir en las aguas donde están presentes dichos microorganismos (CAN, 2005).



- Sólidos Totales, Aguas en estado natural presentan tres tipos de sólidos no sedimentables: Suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados por la acción de arrastre del cuerpo de agua, donde los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y los grandes (mayores a 0.01 mm) generalmente sedimentan más rápido. Los sólidos coloidales están compuestos por limo fino, bacterias y partículas responsables del color; los cuales se demoran en sedimentarse un tiempo razonable. El efecto de estos sólidos se traduce en el color y turbiedad de aguas no sedimentadas. Por parte de los sólidos disueltos que se incluye la materia orgánica e inorgánica, no son sedimentables y causan diferentes problemas en los cuerpos de agua, olor, sabor, color y salud (Rojas, 2012).
- Nitratos Los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), son producidos por fuentes naturales y antropogénicas, siendo estas últimas las causantes de concentración durante las últimas décadas. Los principales contaminantes de nitratos hacia ríos son las aguas residuales de industrias, aunque estas emisiones son puntuales y pueden ser controladas, las más preocupantes a nivel de escala y control son aquellas deposiciones de nitratos producidas por agricultura y ganadería intensiva. En las zonas donde se practica agricultura intensiva y a gran escala se utilizan grandes cantidades de abonos químicos, junto con abonos naturales provenientes de excrementos animales. Estos abonos contienen alta cantidad de compuestos nitrogenados, ya que el nitrato tiene como beneficio para los cultivos optimizar su crecimiento y rendimiento de las plantaciones. Estos compuestos se encuentran en cantidades muy altas para que sean absorbidos por las plantas, filtrándose en el suelo y posteriormente llevado por aguas subterráneas contaminando ríos y acuíferos; en conjunto con los excrementos de los animales que también tienen alta concentración de nitratos (Palomares, 2004) El nitrato supone una fuente de nutrientes para ciertos organismos autótrofos. Una alta concentración de nitratos puede establecer en los cuerpos de agua el



grado de eutrofización. Este parámetro permite establecer la concentración de nitratos de agua que se relaciona directamente por el uso excesivo de fertilizantes. Se pueden determinar mediante espectrofotometría (absorción de la radiación UV por el ion nitrato) (Orjuela, 2013).

### **5.2.5 Índices de Calidad del Agua.**

Los índices de calidad de las aguas se pueden usar a nivel de datos físico-químicos (ICA) o a través de índices biológicos (BMWP, ABI, ASPT, etc.) que hacen uso de datos hidrobiológicos, los cuales son considerados bioindicadores. La evaluación de la calidad del agua puede ser comprendida, como la estimación de su naturaleza química, física y biológica proporcional a la calidad natural, las actividades antrópicas y usos posibles (Hernández, 2009). En términos simples, un índice de la calidad del agua, WQI por sus siglas en inglés, es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. (Patiño, et al., 2009).

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el "ICA", define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de "Usos Específicos". El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del "WQI" que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NSF), la cual, creo y diseño un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

El ICA puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los



resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L)
- Nitratos (NO3 en mg/L)
- Fosfatos (PO4 en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación en el curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla 1:

**Tabla 1.** Clasificación del ICA propuesto por Brown.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

**Fuente:** Recuperado de Lobos, José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.



Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA<sub>a</sub>) o una función ponderada multiplicativa (ICA<sub>m</sub>). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (sub_i * w_i) \quad (1)$$

$$ICA_m = \sum_{i=1}^9 (sub_i^{w_i}) \quad (2)$$

Donde:

w<sub>i</sub>: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub<sub>i</sub>), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub<sub>i</sub>: Subíndice del parámetro i.

Debido a los inconvenientes presentados por los índices de contaminación (ICA) en Colombia, se desarrollaron los índices de contaminación ICO que presentan ventajas al ser más económicos por la utilización de un número menor de variables y al permitir determinar puntualmente el tipo de contaminación presentada (Ramírez et al., 1997).

En Ramírez et al. (1997) se describen los índices en los cuales se utilizan diferentes características fisicoquímicas de las aguas para determinar su grado de contaminación. Estos índices surgieron a partir de la experiencia acumulada en programas de monitoreo hidrobiológicos, implementados por la industria petrolera en Colombia por más de seis años y en los resultados arrojados por estadísticas multivariadas. Los índices se desarrollaron con base en legislaciones de diversos países, acordes con las concentraciones de las distintas variables y los usos



potenciales de las aguas. “Dichos índices de contaminación (ICO) son: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, e ICOTRO o trofia del sistema” (Ramírez et al., 1997). A diferencia del índice WQI, los ICO tienen un rango de variación entre 0 y 1, donde 0 denota baja contaminación y 1 alta contaminación. En la siguiente tabla se describe la asignación de dichos valores.

**Tabla 2.** Clasificación de calidad de agua en función de índices de contaminación ICO'S.

VALORES DE LOS ÍNDICES	CLASIFICACION	LEYENDA
0.8 – 1.0	Contaminación muy alta	
0.6 – 0.8	Contaminación alta	
0.4 – 0.6	Contaminación media	
0.2 – 0.4	Contaminación baja	
0.0 – 0.2	Contaminación muy baja	

**Fuente:** Recuperado de Jiménez, Alberto. Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial, 2006.

A continuación, se describen los índices de contaminación que será empleados:

- **ICOMI:** Índice de contaminación por mineralización; incluye variables como conductividad, dureza, alcalinidad entre otros. Es el valor promedio de los índices de cada una de las 3 variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 – 1.

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}) \quad (3)$$

Donde:

$$\ln(I_{Conductividad}) = -3.26 + 1.34 \ln[Conductividad(\mu S/cm)] \quad (4)$$

$$\ln(I_{Dureza}) = -9.09 + 4.40 \ln[Dureza(g/m^3)] \quad (5)$$

$$I_{Alcalinidad} = -0.25 + 0.005Alcalinidad d \left( \frac{g}{m^3} \right) \quad (6)$$



- **ICOMO:** Índice de contaminación por materia orgánica; incluye variables como Oxígeno, DBO y coliformes totales y fecales. Al igual que el ICOMI, este índice es el promedio de cada una de las variables elegidas.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{Oxigeno\%}) \quad (7)$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \log_{10} \left[ DBO \left( \frac{g}{m^3} \right) \right] \quad (8)$$

$$I_{COL.TOT} = -1.44 + 0.56 \log_{10} [Col\ Tot\ (NMP)] \quad (9)$$

$$I_{oxigeno\%} = 1 - 0.01Oxigeno(\%) \quad (10)$$

- **ICOSUS:** Índice de contaminación por sólidos suspendidos.

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003solidos\ suspendidos \left( \frac{g}{m^3} \right) \quad (11)$$

Sólidos suspendidos por encima de 340 g/m<sup>3</sup> tienen ICOSUS = 1.

Sólidos suspendidos por debajo de 10 g/m<sup>3</sup> tienen ICOSUS = 0.

- **ICOTRO:** Índice de contaminación Trófico; se fundamenta en la concentración del fósforo total, el cual define por sí mismo una categoría discreta a saber

**Tabla 3.** Clasificación del cuerpo de agua según su concentración de P total.

ESTADO DEL AGUA	CONCENTRACIÓN (ppm)	UNIDADES
Oligotrófico	< 0.01	g/m <sup>3</sup>



Mesotrófico	0.01 – 0.02	g/m <sup>3</sup>
Eutrófico	0.02 - 1	g/m <sup>3</sup>
Hipereutrófico	>1	g/m <sup>3</sup>

**Fuente:** Recuperado de Chavarro, 2016.

### **5.2.6 Bioindicación.**

La bioindicación es una técnica de evaluación ambiental que a lo largo de los años se ha venido consolidando como método para la detección y control de la toxicidad en un determinado ecosistema. Así, desde hace dos décadas se están desarrollando métodos de bioindicación que han analizado la salud ambiental del aire, suelo y agua de los más variados entornos. Esta técnica consiste en la utilización de organismos vivos, ya sean animales o vegetales, para medir y controlar la contaminación de un entorno determinado. Los indicadores biológicos reaccionan de una manera concreta ante ciertos agentes contaminantes. La bioindicación es un fenómeno íntimamente ligado al proceso de adaptación a lo largo de toda la evolución de la vida. La metodología “bioindicación” hace referencia a la utilización de biota acuática para evaluar la calidad del agua desde el punto de vista de tolerancia de las especies a la contaminación (Lievano, 2007). Los indicadores biológicos están formados por macroinvertebrados acuáticos constituidos principalmente por larvas y ninfas de insectos de los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera, Coleóptera y Díptera, entre otros (Zúñiga, 2013), lo que quiere decir que es en los ecosistemas acuáticos donde inicia el desarrollo de su ciclo de vida, pasando por el estado pupal y finalmente el estado adulto, es por esto su importancia en evaluaciones ambientales (Lievano, 2007).

### **5.2.7 Macroinvertebrados acuáticos.**

Son animales invertebrados de hábito acuático, que viven en sedimentos, rocas, vegetación acuática, y otros sustratos del fondo de diferentes cuerpos de agua hasta ecosistemas marino.



Durante sus ciclos de vida, estos animales pueden construir casas, tubos, o redes que usan para vivir sobre rocas, detritos orgánicos o libremente, por su tamaño relativamente grande, son retenidos por redes de 250 y 500  $\mu\text{m}$ . Estos organismos son una fuente de alimento para aves, mamíferos, y peces habitantes de los diferentes ecosistemas. Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente citados como bioindicadores para la evaluación de la calidad acuática en las últimas décadas (Patiño, 2015).

Los Macroinvertebrados acuáticos son un grupo variado de organismos que no tienen espina dorsal y que son fáciles de ver sin la necesidad de un microscopio, además de ser una fuente de energía para los animales más grandes (Carrera, 2001). Estos son utilizados para monitoreo biológico por su sensibilidad a cambios externos que afectan la composición de sus poblaciones (Roldán, 2003). Otros indicadores, como los peces, pueden no ser buenos indicadores de la calidad del agua debido a su movilidad. En ese sentido, la mayoría de los Macroinvertebrados benthicos no pueden moverse grandes distancias para evitar la contaminación por lo que pueden representar adecuadamente las características locales del río (Lampert, 1997).

Las comunidades acuáticas brindan más información sobre la contaminación o la calidad general del afluente hídrico a través de un período más largo de tiempo a diferencia de un análisis químico, de acuerdo a la Water Resources Commissioner (WRC, 2001). Los macroinvertebrados son sensibles a distintas condiciones físicas y químicas, por lo que un cambio en la calidad del agua podría cambiar también la estructura y composición de las comunidades acuáticas. Por ende, la riqueza y la composición de la comunidad de macroinvertebrados pueden ser utilizadas para proveer un estimado de la salud de un cuerpo de agua. Los organismos indicadores de la calidad del agua determinan los efectos de los impactos en el ecosistema acuático a través de un tiempo más prolongado (Chapman, 1996). Las comunidades bentónicas se alimentan de sedimentos donde se acumulan toxinas de forma que se incorporan en la cadena trófica; su sensibilidad a los cambios o disturbios presentes permite la determinación de calidad acuática y, por último, son



primordiales en la alimentación de peces y se integran en la degradación de materia orgánica y ciclo de nutrientes (Segnini y Chacón, 2005).

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos pueden vivir en la superficie de los sustratos de los diferentes cuerpos hídricos o nadar libremente en sus aguas, y de esta singularidad reciben los diferentes nombres, debido a que se tiene en cuenta su tipo de adaptación (Roldan, 2003).

- Neuston: Se reconocen por ser los organismos que viven en la superficie de la lámina de agua, ya sea brincando, caminando o patinando, debido a que presentan uñas, patas y exoesqueletos impermeables evitando así que se hundan. Podemos encontrar las siguientes familias que cumplen estas características, las Mesoveliidae, Hidrometridae y Gerridae (Roldan, 2003).
- Necton: Se les denomina de esta manera a los organismos que nadan libremente en el cuerpo de agua. Entre ellos se encuentran: Baetidae del orden Ephemeroptera; Dytiscidae, Grinidae e Hydrophilidae del orden Coleoptera y Corixidae del orden Hemiptera (Roldan, 2003).

Bentos: Estos organismos habitan en lo profundo de los ríos y los lagos, estando junto a las rocas, troncos, piedras, cualquier tipo de vegetación y demás sustratos que se presenten en el cuerpo hídrico. (Roldan, 2003).

Los principales ordenes representantes de esta comunidad son: Megaloptera, Trichoptera, Plecoptera Ephemeroptera y Diptera. También se pueden encontrar organismos escondidos en el fondo del cuerpo hídrico, como la familia Euthyplociidae (Ephemeroptera). Además, se pueden encontrar familias que se adhieren a peñascos mediante ventosas que tiene en el abdomen como lo son la familia Blephariceridae (Diptera), ciertas especies clasificadas en el orden Odonata suelen habitar en tipos de vegetación acuática, ya sea totalmente sumergida o no (Roldan, 2003).

La presencia de algunas familias y géneros es indicadora de aguas claras y limpias, mientras que otras soportan aguas muy contaminadas; así, por ejemplo, la presencia de individuos de las



familias Tubificidae (anélidos) o Chironomidae (moscas) indican la presencia de considerable contaminación hídrica, opuestamente unas aguas claras y limpias serán el hábitat de individuos de familias como Zygoptera (libélulas), Ptilodactilidae (escarabajos) o Hydrachnidae (arácnidos) que no pueden adaptarse a condiciones hídricas con presencia de contaminantes (Vásquez y Medina, 2014). Las principales especies de macroinvertebrados bentónicos más utilizados para análisis de calidad de agua en ríos son las siguientes.

- Ephemeroptera: Los organismos de esta especie viven por lo regular en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas; sólo algunas especies parecen resistir cierto grado de contaminación. En general se consideran indicadores de buena calidad del agua (Roldán, 1988). Sus hábitats de preferencia son sustratos rocosos, troncos, hojas o vegetación sumergida. Las ninfas se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas, constituyen parte de la dieta alimenticia de los peces. Los huevos los depositan generalmente en la superficie del agua y poseen estructuras que les permite fijarse al sustrato. La respiración la realizan a través de agallas, generalmente abdominales, las cuales varían en forma y número de acuerdo con la especie (Roldan, 1988).
- Plecoptera: Se caracterizan por ser tolerantes y vivir en aguas rápidas, bien oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas. Su presencia en ciertos casos que son especialmente abundantes en ríos con sustrato rocoso, de corrientes rápidas y muy limpias situadas alrededor de los 2000 m de altura. Son, por tanto, indicadores de aguas muy limpias y oligotróficas (Roldán, 1988).
- Diptera: Habitan en nichos muy variados encontrándose en ríos, arroyos, quebradas, lagos, en todas las profundidades, depósitos de agua en las brácteas de muchas plantas y en orificios de troncos viejos, y aun en las costas marinas. Existen representantes de aguas muy limpias como la familia Simuliidae o contaminadas como la familia Tipulidae y Chironomidae. Su alimentación es muy variada (Domínguez, 2009).



Trichoptera: En los ambientes acuáticos especialmente ríos y quebradas, los Trichoptera juegan un papel importante, tanto en las cadenas alimentarias como el reciclaje de nutrientes. Debido a su gran diversidad y el hecho de que las larvas poseen distintos ámbitos de tolerancia y según la familia o el género al que pertenecen, son muy útiles como bioindicadores de calidad de agua y la salud del ecosistema, también son buenos indicadores de aguas oligotróficas (Springer, 2006).

- Coleoptera: La mayoría de Coleoptera acuáticos viven en aguas continentales loticas y lenticas. En las zonas loticas los sustratos más representativos son troncos y hojas en descomposición, grava, piedras, arena y la vegetación sumergida y emergente. Las zonas más ricas son las aguas someras en donde la velocidad de la corriente no es fuerte, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alto y temperaturas medias (Roldán, 1988).
- Odonata: Se conocen comúnmente como libélulas de agua, son insectos hemimetábolos cuyo período larval es acuático, empleando desde dos meses hasta tres años su desarrollo adulto, de acuerdo a su tipo de especie y clima. En estado adulto viven entre tres días hasta tres meses. Viven en pozos, pantanos, márgenes de lagos y corrientes lentas y poco profundas, por lo regular, rodeados de abundante vegetación acuática sumergida o emergente. Su distribución está más indicada hacia aguas limpias o ligeramente eutrofizadas (Roldán, 1988).

Las comunidades de macroinvertebrados presentan una estructura susceptible al tipo de sedimento, el sustrato, la disponibilidad y calidad del alimento, la temperatura del medio y la concentración del monóxido de carbono y ácido sulfúrico, factores que resultan ser elocuentemente variables en ecosistemas loticos. De igual forma, la abundancia y distribución de los nutrientes dentro de estos ecosistemas puede llegar a ser perturbada por el tamaño del afluente, las áreas que pueden ser iluminadas y el sustrato, entre otros. Los parámetros fisicoquímicos del agua influyen de forma directa en la diversidad de los organismos de



macroinvertebrados. Parámetros como la alcalinidad, pH, dureza, materia orgánica, sedimentos, alteran la abundancia de las comunidades (Gil, 2014).

### **5.2.8 Índice biológico de calidad de agua.**

Es una herramienta que mide la calidad del agua en función de los organismos indicadores que se desarrollan en el ecosistema, depende directamente de la sensibilidad que tiene cada organismo con respecto a la contaminación, con la implementación del índice biológico se le asigna un valor y la suma de los valores de la comunidad da un número que indica el estado del medio en un punto o un tramo determinado (Cuintaco y Robayo, 2019). Los índices biológicos complementan, pero no sustituyen a los parámetros fisicoquímicos (Martínez & Gil, 2014). Dan una visión más completa en el espacio y el tiempo, ya que vive gran parte de su ciclo biológico en el agua. La presencia de un determinado organismo indicador asegura una mínima calidad del agua durante todo su ciclo vital (Martínez & Gil, 2014).

La comunidad de macroinvertebrados en los últimos años se ha destacado como indicadora de condiciones ambientales, debido a que su presencia en una fuente hídrica representa en qué circunstancias se encuentra ese ecosistema, las condiciones químicas, bióticas y físicas, además de las presiones ambientales a las que se encuentran, son las que estos organismos podrían llegar a reflejar (Gonzales, Ramírez, Meza, & Dias, 2012). Roldan enseña que los organismos usados como bioindicadores a lo largo de la historia han sido las bacterias, las algas, los peces, las macrófitas, los protozoos, los macro invertebrados acuáticos y los hongos. Los bioindicadores se dividen en indicadores de respuesta o indicadores de acumulación; los organismos utilizados para tal fin pueden ser organismos indicadores, de prueba o de monitoreo. Los organismos indicadores adicionalmente brindan información acerca de las condiciones del ecosistema, como lo son factores de humedad, pH o presencia de compuestos específicos. Los organismos de prueba son utilizados principalmente en el uso de pruebas de laboratorio en el área de toxicología;



muchas de estas pruebas se realizan con el fin de valorar el nivel de riesgo al que se encuentra expuesta una persona (Peña, Sarmiento, Rodríguez, & Porras, 2014).

Los índices más ampliamente usados para sistemas lóticos (ríos y riachuelos) y lénticos (lagos, lagunas) son el Índice BMWP/Col (Biological Monitoring Water Party/Colombia) (Roldán, 2003) y el Índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera) (Carrera y Fierro, 2001), los cuales son útiles en el análisis de la calidad del agua, debido a que necesitan bajo nivel taxonómico (Familia), bajo costo en términos de tiempo (identificación de insectos) y dinero, convirtiéndose en metodologías rápidas y útiles para ser empleadas en la fiscalización por parte de algún organismo público que requiera en poco tiempo y de una forma acertada evaluar la calidad del agua de una cuenca hidrográfica determinada (Roldán, 2003).

- Índice biológico BMWP/Col: 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 macro invertebrados como bioindicadores. Este método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). En Latinoamérica se han hecho intentos de aplicar índices para evaluar la calidad de las aguas. El libro “Bioindicación de la calidad del agua en Colombia” de (Roldan 2003), propone el uso del BMWP/Col; que no es más que una modificación del BMWP, aplicando un puntaje de 1 a 10 a las diferentes familias de macroinvertebrados comunes en el país y para las clases de calidad de agua normalmente encontradas (Tabla 4). Esta modificación, además incluye una clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/COL, así como un color significativo para representaciones cartográficas (Tabla 5).



**Tabla 4.** Puntaje de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/COL. de acuerdo a los valores originales de BMWP y ajustados por Roldan (2003) para Colombia.

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

Fuente: Recuperado de Roldan, 2003.

**Tabla 5.** Clasificación de las aguas, significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/COL y colores para representaciones cartográficas.

CLASE	CALIDAD	BMWP/COL	SIGNIFICADO	COLOR
		> 150	Aguas muy limpias	Celeste
I	Buena	101 – 120	Aguas no contaminadas poco alteradas	Azul
II	Aceptable	61 – 100	Se evidencia efecto de la contaminación	Verde
III	Dudosa	36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16 – 35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas situación crítica	Rojo

Fuente: Recuperado de Roldan, 2003.



- Índice Average Score per Taxon (ASTP): El índice promedio por taxón más conocido como índice ASPT, es un índice muy empleado para la evaluación de la calidad del agua de diferentes cuerpos hídricos. Este se trabaja calculando la división del puntaje total obtenido del índice BMWP por el número de taxones calificados y recolectados en la muestra, lo cual expresa el promedio de indicación de calidad del agua que tienen las familias de macroinvertebrados encontradas en un sitio determinado (Tabla 6). Los puntajes del índice ASPT van de 0 a 10, por lo cual un valor bajo de ASPT está en relación a un puntaje bajo de BMWP, lo que indica condiciones graves de contaminación en la zona de estudio, pero si resulta un a valor alto indicara condiciones de aguas muy limpias y poco intervenidas (Álvarez, 2005).

**Tabla 6.** Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice ASTP.

CLASE	CALIDAD	ASTP	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	> 9 – 10	Aguas muy limpias	Celeste
		> 8 – 9	Aguas no contaminadas	Azul
II	Aceptable	>6.5 – 8	Ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	>4.5 – 6.5	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	>3 – 4.5	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	1 – 3	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

**Fuente:** Recuperado de Álvarez, 2005.

- Índice Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT): Se refiere a la presencia o ausencia de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en una comunidad biológica. En general, las especies de estos grupos de insectos son sensibles a las perturbaciones humanas (Alonso & Camargo 2005), de aquí su uso como indicadores en el cálculo del índice. Este índice corresponde a un valor determinado por tres grupos taxonómicos muy sensibles a la contaminación y que por lo general son indicadores de



aguas limpias. El análisis EPT se realizó mediante la utilización de estos tres grupos de macroinvertebrados (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) que son indicadores de buena calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación. Se obtiene contando el número de taxa de estos órdenes presentes en la muestra. El valor obtenido se compara en un cuadro de calidad de agua (Klemm et al. 1990) (Tabla 7). El resultado obtenido se compara con los siguientes valores y se determina la calidad del agua.

**Tabla 7. Escala de Valores Índice EPT.**

EPT	CALIDAD DEL AGUA	COLOR
> 10	Sin impacto	Azul
6 – 10	Levemente impactado	Amarillo
2 – 5	Moderadamente impactado	Naranja
0 – 1	Severamente impactado	Rojo

**Fuente:** Recuperado de Klemm, 1990.

### 5.3 MARCO LEGAL.

El índice de calidad general del agua (ICA), Índice de contaminación (ICOS) e índices biológicos (BMWP/col, ASTP y EPT) en Colombia son manejados para la gestión integral del recurso hídrico, como una herramienta de articulación entre los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo de la oferta hídrica del país (A. Ramírez et al., 1997; Roldán, 1996).

En Colombia, el decreto 1076 de 2015 entre sus artículos 2.2.3.3.1.1 y 2.2.3.3.9.1 y la resolución 0631 del 2015, son las normas referentes en cuanto al manejo de los vertimientos y la calidad de las fuentes hídricas. El primero; establece los lineamientos acerca de los usos de las fuentes hídricas y monitoreo de los vertimientos sobre las mismas, enfatiza y establece como requerimiento la implementación de modelos de simulación de calidad de agua para predecir



impactos que pueda generar los vertimientos en un cuerpo de agua receptor; en cuanto a la resolución 0631 del 2015 esta se enfatiza principalmente en dar a conocer los valores máximos permisibles por parámetro en los vertimientos puntuales realizados en cuerpos de agua superficiales y en los sistemas de alcantarillado público. (Cuintaco y Robayo, 2019). Otras, normativas ambientales vigentes en el país, se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Descripción del marco normativo aplicable al desarrollo del estudio.

JERARQUÍA	NORMA	AÑO	ALCANCE	FUENTE
Constitución Política	Artículos 79, 89 y 95	1991	El manejo de vertimientos está ligado a la obligación del estado de garantizar un ambiente sano a todos los colombianos y de proteger la integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológicas y fomentar la educación ambiental. El saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del estado.	Asamblea Nacional Constituyente, 1991.
Ley	23	1973	Por medio de la cual se le conceden facultades al presidente de la república para la expedición del código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente, y se decreta las respectivas obligaciones de la nación y de la comunidad con el medio ambiente.	Congreso de Colombia, 1973.
Decreto/Ley	2811	1974	Por medio del cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: define normas generales y detalla los medios para el desarrollo de la Política Ambiental.	Congreso de Colombia, (1974)
Ley	99 artículo 5	1993	Por medio del cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y organiza el	Congreso de Colombia, (1993)



JERARQUÍA	NORMA	AÑO	ALCANCE	FUENTE
			Sistema Nacional Ambiental, SINA, en su artículo 5, establece que el MADS tiene dentro de sus funciones regular el saneamiento del medio ambiente, tendiendo a reducir la contaminación hídrica.	
Ley	09	1979	Código Sanitario Nacional: Establece las normas generales para preservar, restaurar o mejorar las condiciones necesarias en lo que se relaciona a la salud humana y define desde el aspecto sanitario los usos del agua y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.	Minsalud, (1979)
Decreto	3100	2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.	MAVDT, (2003)
Decreto	1076 artículos 2.2.3.3.1.1 al 2.2.3.3.9.1	2015	Por el cual se establece las disposiciones relacionadas en cuanto a los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico o al alcantarillado	MADS, (2015)
Decreto	1076 artículos 2.2.9.7.1.1 al 2.2.9.7.6.2	2015	Capítulo 7, Por medio del cual se reglamenta la tasa retributiva.	MADS, (2015)
Decreto	050	2018	Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 1076 del 2015, en relación con los Consejos Ambientales Regionales de Macrocuencas y se determinan	MADS, (2018)



JERARQUÍA	NORMA	AÑO	ALCANCE	FUENTE
			definiciones de capacidad de asimilación y carga contaminante.	
Resolución	1433	2004	Por medio de la cual se reglamenta el artículo 12 del decreto 3100 de 2003, Establece la definición de un PSMV, las autoridades competentes para evaluarlos y aprobarlos, cuando se realiza control y seguimiento, entre otras.	MADS, (2004)
Resolución	2145	2005	Modifica la resolución 1433, basado en que la autoridad ambiental deberá establecer objetivos de calidad de cuerpos hídricos y por ende se deben tener en cuenta las normas de vertimiento, por lo que los PSMV deberán estar articulados a los objetivos de calidad.	MAVDT, (2005)
Resolución	1514	2012	Por medio del cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión del riesgo y Manejo de Vertimientos, los cuales deben ir incluidos en la solicitud de un permiso de vertimientos	MADS, (2012)
Resolución	0631	2015	Por medio de la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial y a los sistemas de alcantarillado público.	MADS, (2015)

**Fuente:** Recuperado de legalización que regula la generación, disposición y tratamiento de vertimientos generados de actividades productivas y domésticas en el territorio colombiano, adoptado “Congreso de la Republica” (Cuintaco D y Robayo T, 2019).

#### 5.4 ANTECEDENTES.

El problema por el que atraviesa las cuencas hídricas en Colombia son las altas concentraciones de material orgánico producto de vertimientos arrojados por las poblaciones de las áreas de influencia del cuerpo hídrico como las diferentes actividades antrópicas presentes,



los índices de calidad del agua surgen como una herramienta simple de evaluación del recurso hídrico en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos. Así mismo las comunidades biológicas presentes en la cuenca presentan diferentes tipos de respuesta como resultado al estrés generado del aumento de las cargas contaminantes orgánicas e inorgánicas (Brousett, 2018; Chará, Chará, Zúiga, Pedraza, y Giraldo, 2010; Roldán, 2016; Toro, Schuster, y Kurosawa, 2003).

En Colombia los primeros estudios para determinar la calidad del agua utilizando macroinvertebrados se realizaron en la década de los setenta (Roldan, 1978). Donde la determinación de familias se llevó a cabo basándose en las claves taxonómicas disponibles en ese entonces, las cuales fueron diseñadas por especialistas europeos y norteamericanos, hallando errores en la identificación taxonómica debido a que las claves estaban diseñadas para zonas templadas y no tropicales como lo es Colombia, por esto fue necesario la elaboración de claves teniendo en cuenta las condiciones del territorio colombiano y las especies que aquí se encuentran. (Gracia, 2019).

Roldan entre 1973 y 1976 estudió limnológicamente los ríos Anorí, Medellín, Río negro y la Quebrada La Agudelo, cuerpos hidrográficos ubicados en el departamento de Antioquia, Colombia. En cada uno de estos ecosistemas se analizó la fauna de efemerópteros y se determinó la estructura de la comunidad. Las variaciones en oxígeno debido a la contaminación orgánica y los cambios en turbidez motivados por las épocas de lluvia, parecen ser los factores que más afectan adversamente las comunidades bénticas (Roldan, 1980).

La Universidad de Antioquia en la década de los setenta generó un fuerte impulso en el estudio limnológico de cuerpos loticos, como lo son ríos y quebradas de la misma región, con ayuda de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. (Roldan, Ramírez (1981), Roldán (1980, 1985, 1988) y Roldán et al. (1973) constituyó la base para la elaboración de claves taxonómicas y ecológicas para la identificación de macroinvertebrados acuáticos, que han servido para la



determinación taxonómica en todas las zonas del país. Gómez-Aguirre et al. (1973) estudiando la composición de las comunidades de macroinvertebrados en las corrientes, encontraron que la geología y los elementos disueltos parecen ser los que juegan un mayor papel en la distribución de los macroinvertebrados. La entomofauna es la comunidad de macroinvertebrados acuáticos mejor estudiada en Colombia. Los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son conocidos mayormente en cuanto a su taxonomía, ecología y su utilización como bioindicadores de la calidad del agua. Es necesario profundizar en el análisis de algunos grupos como los anélidos, moluscos, ácaros y dípteros, de los cuales aún falta conocimiento de su taxonomía y autoecología (Roldan, 2009).

En Colombia son numerosos los registros de taxa de diatomeas en estudios ecológicos de comunidades perifíticas, los que se han llevado a cabo principalmente en sistemas lenticos de Antioquia (Moreno, 1989; Sierra y Ramírez, 2000). En lagos de páramo (Donato et al. 1996 y Donato 2010) y en sistemas lóticos se han desarrollado trabajos como los de Ramírez y Viña (1998), Montoya (1998) en el río Medellín y Hernández et al. (2005) en la quebrada La Vega Antioquia. Estos estudios han contribuido a la comprensión de los ensambles de estas comunidades en sustratos artificiales, su distribución espacio-temporal, los procesos de colonización y la sucesión.

Salas, Geovo y Asprilla realizaron un análisis en un tramo del Río Pacurita, ubicado en el municipio de Quibdó, durante los meses de diciembre de 2008 a febrero de 2009, llevaron a cabo seis muestreos quincenales con el fin de caracterizar la comunidad fitoperifítica y de macroinvertebrados del tramo, mediante la determinación de las familias y géneros y su influencia con algunos parámetros físicos y químicos. Se colectaron los macroinvertebrados acuáticos y las algas del perifiton del micro-hábitat presente, además se midieron algunas variables climáticas, físicas y químicas del agua como precipitación, conductividad eléctrica, temperatura del agua, sólidos totales, pH y oxígeno disuelto. Se presentó una alta cantidad de organismos fitoperifíticos



representando un total de 301 individuos distribuidos en 4 divisiones, 4 clases, 10 órdenes, 16 familias y 28 géneros, y para la comunidad de macroinvertebrados se registraron 128 especímenes, que se agruparon en una clase, 8 órdenes, 18 familias y 27 géneros; en cuanto a los micro-hábitats, no existió diferencia estadísticamente. Para el caso de la comunidad periférica existe una relación estadísticamente significativa entre los valores de diversidad y conductividad eléctrica. En cuanto a los macroinvertebrados acuáticos existe relación estadísticamente significativa entre los valores del índice de diversidad y la precipitación (Salas, Geovo, & Asprilla, 2011).

Ángulo (2014), realizó un estudio para determinar la calidad del agua del Río San Cristóbal, ubicado en la ciudad de Bogotá, entre los 2100 msnm y 3000 msnm utilizando macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos para posteriormente aplicar el índice BMWP adaptado para la Sabana de Bogotá y elaboró un análisis estadístico multivariado entre las variables expuestas. Al realizar el análisis se concluyó que la calidad del agua del Río San Cristóbal es buena según el índice BMWP adaptado para la Sabana de Bogotá por los organismos allí encontrados.

Barrera y Monroy (2015) evaluaron la calidad del agua de la quebrada La Esmeralda, ubicada en Bojacá, Cundinamarca, usando dos formas para la recolección de los macroinvertebrados: colecta directa de muestras en micro-hábitats y toma de muestras en red o pantalla. Durante el período de muestreo, se colectaron 2594 macroinvertebrados, correspondientes a 39 familias ubicadas en los tres puntos de muestreos, de las 39 familias halladas, solo nueve (Baetidae, Chironomidae, Helicopsychidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Naucoridae, Philopotamidae, Simuliidae y Veliidae) presentaron abundancia mayor o igual al 10% en al menos uno de los puntos muestreados. Según el BMWP la calidad del agua es muy buena para los tres puntos muestreados. Sin embargo, el ASPT muestra que el puntaje BMWP/Col promedio para las familias del punto de aguas arriba es cercano a 8 mientras que el puntaje promedio en los dos puntos restantes está alrededor de 6,5. Esto indica levemente mejor calidad para el punto de aguas arriba



que para los dos puntos restantes. Por lo cual los resultados obtenidos mediante el BMWP, el ASPT y el oxígeno disuelto fueron consistentes. Los tres coincidieron en que el agua a lo largo de toda la Quebrada La Esmeralda es limpia, aunque con diferencias leves en su calidad para cada punto de muestreo.

Los trabajos de Zamora (1995, 1996, 2002, 2010) y Serna & Zamora (2004) analizaron la similitud de la comunidad de Macroinvertebrados bentónicos entre los ecosistemas lenticos en la costa pacífica del Cauca y el piedemonte amazónico, así como también los diferentes aspectos ecológicos y biogeográficos de las corrientes de los ríos de la región del Cauca. Rincón (2002) analizó diferentes taxones de insectos acuáticos y sus preferencias de hábitat en una corriente alta andina de Boyacá. Longo (2004) realizó un análisis de ensamblaje de insectos acuáticos en la isla Gorgona y su relación con las variables físicas y químicas del medio ambiente.

Anzola y Rondón (2005) evaluaron el Río Tota ubicado en Boyacá, durante 15 días consecutivos y en tres períodos se registraron variables hidrológicas, físicas, químicas, así como su efecto sobre la composición y densidad de las algas perifíticas en sustratos artificiales. Las especies predominantes fueron *Cocconeis placentula*, *Melosira varians*, *Nitzschia* sp2 y *Fragilaria* cf. *capucina*, con cambios diarios en sus densidades en los tres períodos. Mediante un Análisis de Correspondencias Canónica y partición de la varianza se demostró que la variable con mayor explicación de estos cambios es la velocidad de la corriente (20.6 %) junto con el nitrógeno total (20.6 %) y el pH (14.7 %). En general, valores de velocidad de la corriente moderadamente altos promueven bajas densidades algales, la comunidad se conserva en las primeras etapas de sucesión y permite el mantenimiento de la diversidad. En velocidades de corriente más bajas la abundancia total es alta y se sucede el desprendimiento de la película algal con el consecuente reinicio de la sucesión. (Gracia, 2019).

Zapata y Donato (2005) encuentran en el Río Tota, ubicado en el departamento de Boyacá, que las bajas densidades de Diatomeas son promovidas por valores de corriente altos y cuando



estos son bajos la abundancia total es alta, mientras que en la zona rural del río Medellín se presentaron a nivel espacial diferencias en la biomasa, productividad, diversidad y equidad (Mejía; 2011).

Motta, Ortega y Niño (2011) en el estudio encontraron diferencias biológicas, físicas y químicas entre los tres puntos ubicados en el tramo de 300 metros de la Quebrada La Chapa. Estas diferencias se explican por cambio en las condiciones del hábitat, relacionadas posiblemente con la variación del flujo de materia orgánica, verificados por cambios de pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, lo cual correspondió con los cambios en la biomasa de los grupos funcionales dominantes, más que con modificaciones en la composición taxonómica. Por esta razón no evidenciaron variación en la condición de calidad determinada por el BMWP/COL. Confirmaron que en sistemas loticos de montaña andinos, se expresa una gran heterogeneidad ambiental en pequeñas escalas espaciales, la cual debe ser considerado en el diseño de planes de monitoreos que pretende hacer evaluación en la calidad de los hábitats.

Torres – Zambrano Néstor y David (2016) analizo la composición y algunas implicaciones funcionales de los macroinvertebrados acuáticos existentes en la cabecera de la quebrada Los Alisos, ubicada al occidente del municipio de Firavitoba en el departamento de Boyacá. Realizaron dos muestreos durante los meses de agosto y septiembre de 2016. Determinaron los grupos funcionales alimenticios y algunos rasgos biológicos a partir de información bibliográfica, encontraron siete mecanismos de alimentación y 19 rasgos biológicos. Recolectaron 2688 individuos pertenecientes a tres filos, seis clases, 11 órdenes 21 familias y 14 géneros, en donde la mayor abundancia relativa correspondió al género *Hyaella* (Amphipoda, 20,3 %). El grupo trófico de los detritívoros-colectores o consumidores de depósito (C2), fue el más frecuente en el sistema (68,2 %), el cual sugiere que predomina la materia orgánica particulada fina (MOPF). La respiración branquial es la forma de más frecuente ya que se presenta en 12 de los 22 grupos taxonómicos con el 54,5 %. La mayoría de los organismos (54,5 %) presentan ganchos tarsales



(GT), que pueden ser usados eventualmente como una forma de resistencia al contraflujo. Casi todos los organismos que estudiaron caminan o se arrastran (AR, 68,2 %), utilizando variedad de hábitats como sustratos. La flexibilidad de las historias de vida y movilidad que muestran las características de los grupos taxonómicos encontrados en la quebrada Los Alisos pueden influenciar la forma como obtienen su alimento.

Ramos (2017) realizó un estudio acerca de la comunidad de macroinvertebrados en el río Muincha, el cual nace en la laguna del Valle en los límites Turmequé – Villapinzón. En donde encontró 10 órdenes, 30 familias, 5 subfamilias y 41 géneros. Los taxa más dominantes fueron Atanotolca, Baetodes, Orthocladiinae y Simulium. Tomó tres estaciones entre los 2431 a los 2484 msnm en diferentes coriotosos o microhábitats, se utilizaron los métodos de colección directa y Red de Surber para análisis cualitativo y cuantitativo. realizó análisis fisicoquímicos in situ (Ancho del río, profundidad, velocidad de la corriente y caudal, Temperatura, pH, Conductividad, Dureza y Oxígeno) en cada estación. La estructura cualitativa y cuantitativa de la comunidad de macroinvertebrados presentó diferencias en las tres estaciones. Estas diferencias se deben a que las épocas de muestreo y la altitud influyen sobre la distribución espacio – temporal de la comunidad de macroinvertebrados.

El mayor porcentaje de abundancia en la Estación I lo presentaron los Omnívoros – Detritívoros y en las Estaciones II y III los Filtradores. Según el Índice BMWP el ecosistema se encuentra alterado posiblemente debido a la acción antrópica. Los macroinvertebrados se pueden utilizar como bioindicadores para establecer la calidad del agua aplicando el Índice BMWP, pero se debe tener en cuenta que la presencia de individuos está determinada por factores como la altitud y la precipitación.

Vera y Pinilla (2020) desarrollaron una propuesta preliminar de un Índice Multímetro de Macroinvertebrados para Ríos del Departamento de Boyacá (IMARBO) con el fin de valorar el estado ecológico de cinco ríos y quebradas de las cuencas alta y media del río Chicamocha.



Caracterizaron parámetros fisicoquímicos y biológicos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en tres tramos de referencia y nueve estaciones con diferente grado de alteración por deforestación, modificación de hábitats y vertimientos domésticos e industriales. El gradiente de estrés ambiental se estableció mediante un análisis de componentes principales (ACP) y correlaciones bivariados. Calcularon 21 métricas de la comunidad de macroinvertebrados, de las cuales se seleccionaron seis para la conformación del IMARBO mediante correlaciones con el gradiente ambiental. Para las métricas seleccionadas calcularon su Eficiencia Discriminativa (ED) entre estaciones de referencia y perturbadas. El índice incluyó la riqueza de familias de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), el % de riqueza de Ephemeroptera, el % de riqueza de Plecoptera, la abundancia total de individuos, el % de abundancia de Filtradores y el índice BMWP/Col. Con los valores de los percentiles de las métricas en los tramos de referencia se elaboraron las escalas de integridad biótica y de calidad ecológica de los ríos estudiados, las cuales se validaron preliminarmente con una base de datos independiente en una cuenca cercana a la estudiada. El índice propuesto constituyo una aproximación preliminar que requerirá futuras comprobaciones a través de un mayor número de datos. Sin embargo, los resultados permitieron diferenciar con claridad los ríos menos contaminados y con una integridad biótica alta (Gámeza y Monguí) de aquellos fuertemente deteriorados y cuyas comunidades de macroinvertebrados presentan muy baja integridad biótica (Chicamocha, Malsitio, Nobsas). De esta manera, el IMARBO podría convertirse en una herramienta útil para la gestión ambiental de los ríos de la región.

Por lo anterior, es evidente que por las problemáticas ambientales que se producen por la mala gestión hídrica, vertimientos domésticos y de las diferentes actividades antrópicas no se monitorea de una manera adecuada y sistemática el Río Gachaneca presente en el Municipio de Samacá; el fin es que se encuentre una relación entre los índices de calidad de agua y/o contaminación con variables como presencia de vertimientos, precipitación, entre otros. Así como la relación



existente con el estudio de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicación para la calidad del agua.



## 6. METODOLOGÍA.

La presente investigación se enfocó en un estudio de tipo explicativo secuencia, en donde se obtienen y analizan datos cuantitativos en este caso los parámetros fisicoquímicos, hidrobiológicos y biológicos; de igual forma se recogen y evalúan datos cualitativos del inventario de macroinvertebrados acuáticos que habitan en el cauce del Río Gachaneca. Con el fin de evaluar de forma integral la calidad del agua se desarrolló una metodología en cuatro fases como se puede evidenciar a continuación.

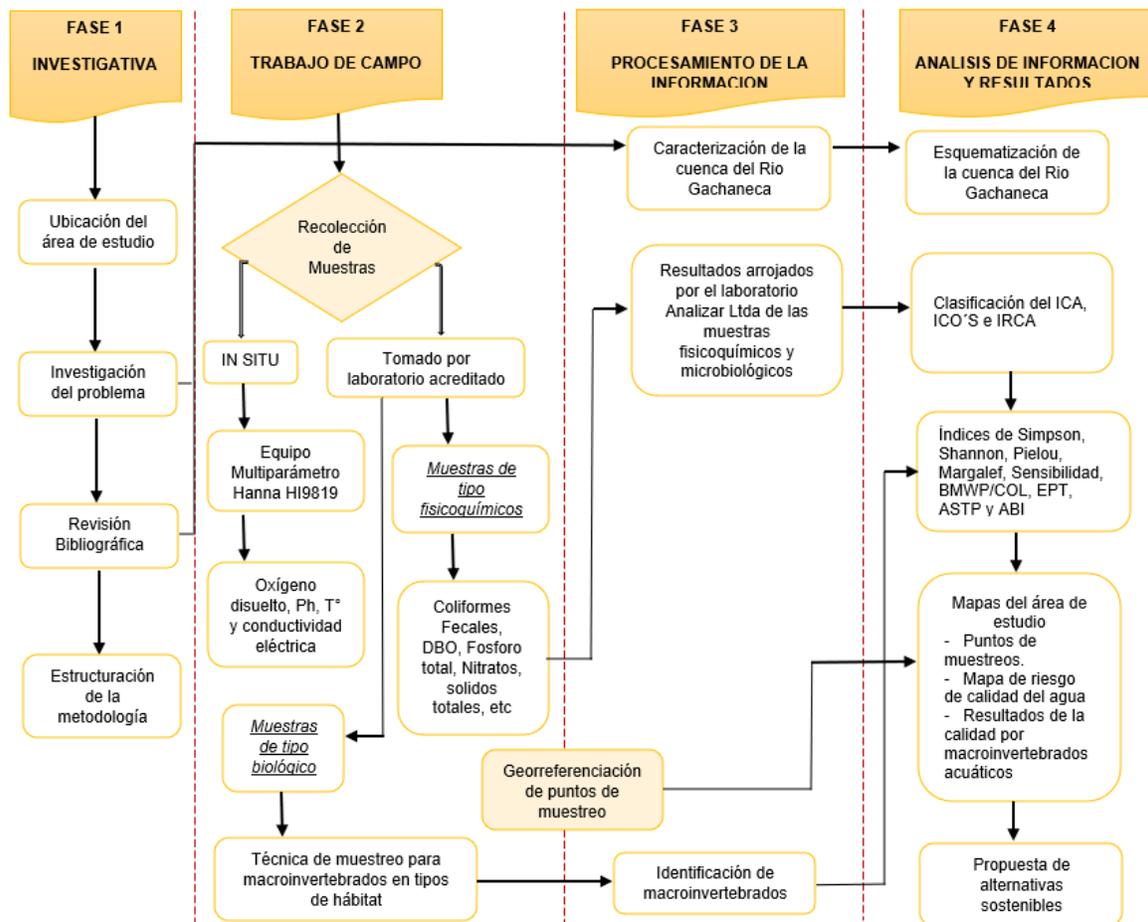


Figura 1. Metodología aplicada. Se evidencia las cuatro fases que se implementarán para el desarrollo del estudio investigativo.



### 6.1 Descripción del Área de Estudio.

El área de influencia indirecta del proyecto se ubica en el municipio de Samacá y parte del municipio de Cucaita, los cuales se encuentra ubicado en la provincia Centro, en el departamento de Boyacá. El municipio de Samacá está situado a unos 30 km de la ciudad de Tunja. El área de estudio directa, en donde se desarrollará la evaluación de la calidad del agua se sitúa en la microcuenca del Río Gachaneca, donde se pueden encontrar la implementación de diferentes actividades antrópicas típicas de la región como son la agricultura, la ganadería, la minería y la industria.

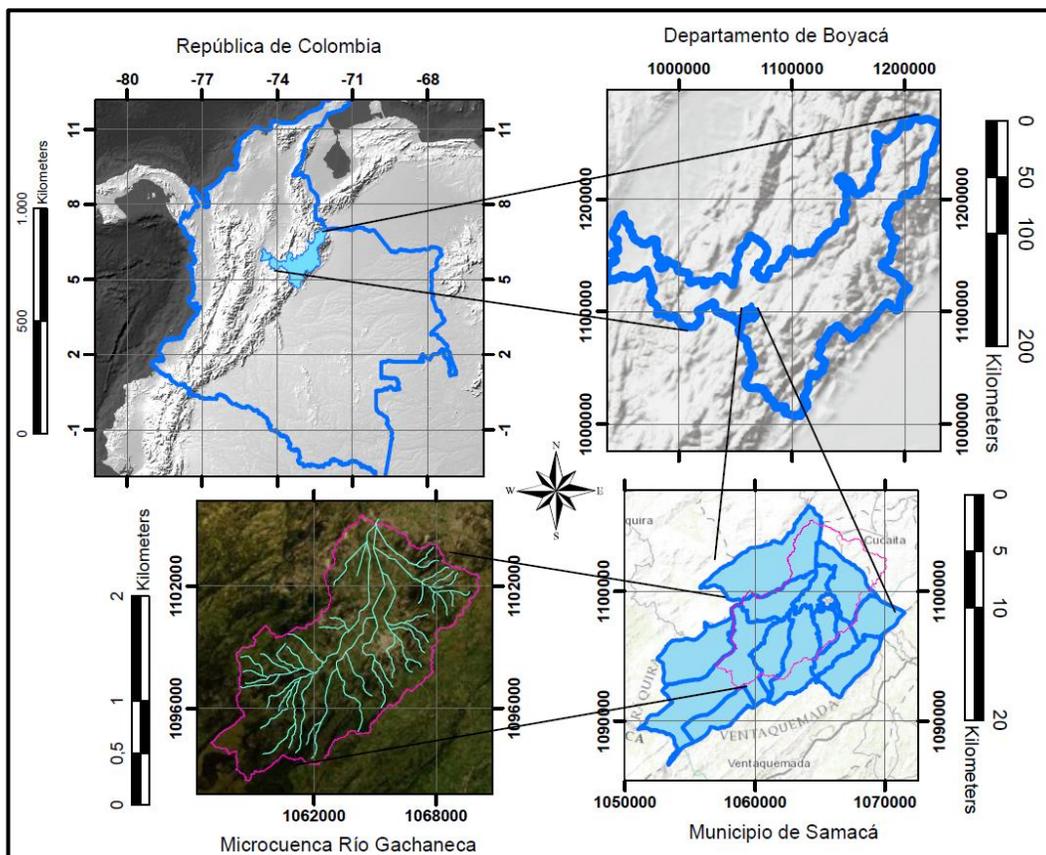


Figura 2. Ubicación del área de estudio. Se evidencia la localización de la microcuenca del Río Gachaneca.



## 6.2 Ubicación de los Puntos de Muestreo.

Para realizar el monitoreo de la microcuenca del Río Gachaneca se escogieron inicialmente 16 puntos de muestreo (Estaciones de muestreo en el año 2019), los cuales se pueden apreciar en la Tabla 9, estos fueron seleccionados de acuerdo con las condiciones del terreno y las principales alteraciones que presenta el afluente como vertimientos, canalización o cambios físicos visuales en el cuerpo de agua. Así mismo, los puntos de muestreo se eligieron tanto aguas arriba como aguas abajo del Municipio de Samacá para mostrar si hay un impacto de las aguas residuales domésticas, minería, industria, minería o agrícola. Las locaciones de muestreo aguas arriba, más cercanas a la mina, se eligieron para ver si había un impacto visible de las actividades mineras. Algunos puntos intermedios se eligieron para mostrar el impacto de la agricultura y el uso de canales de riego.

**Tabla 9.** *Ubicación georreferenciada de las estaciones de muestreo en la microcuenca Gachaneca.*

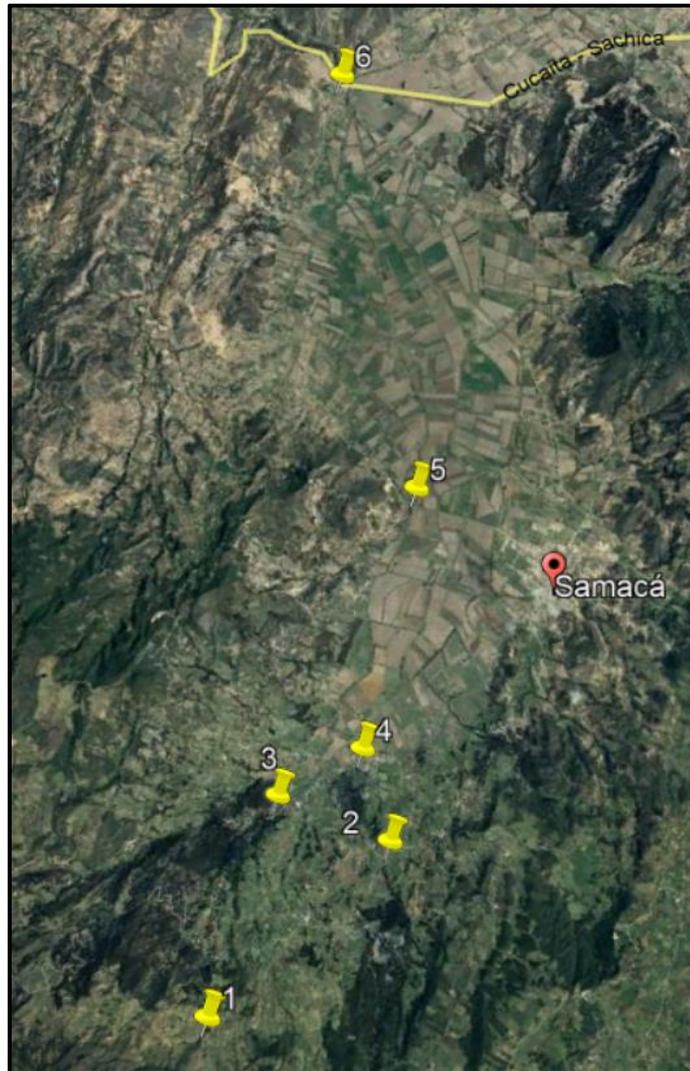
Punto	Estación de muestreo	Ubicación geográfica		Descripción del uso del suelo
		Norte	Este	
1	Intersección vía principal (Unión de todos los vertimientos)	1105109,32	1065060,58	Presencia de Zonas de Cultivos y Pastos. Así como Tierras Eriales.
2	Quebrada el Chulo (Aguas Residuales)	1102017,61	1065473,61	Zonas de Cultivos y Pastos
3	Intersección salida Samacá (Puente)	1100377,27	1064203,47	Zonas de Cultivos y Pastos
4	Vallado Las Delicias (Canal - Vía)	1100179,63	1064464,77	Zonas de Cultivos y Pastos
5	Unión Qda de Quite y Qda del Chulo	1100056,98	1064800,89	Zonas de Cultivos y Pastos
6	Aguas Abajo Salida Municipio de Samacá	1099140,36	1066319,47	Uso urbano
7	Canal en las afueras de la Empresa GFC	1098073,97	1063120,83	Uso Minero – Agrícola
8	Empresa GFC	1097760,55	1063207,35	Uso Minero
9	Textilera	1097606,48	1061994,15	Uso Urbano e Industrial
10	La Carpintería (Unión de Aguas de minas)	1097543,18	1061532,7	Uso Minero
11	Salida Empresa Acerías Paz del Río	1096673,43	1062592,4	Uso Minero
12	Nacedero Qda. Pataguy - Ganadería	1096484,32	1064004,45	Zona de pastos – Uso Ganadero
13	Nacedero Qda. Pataguy - Mana	1096291,76	1064224,46	Zonas de Cultivos y Pastos y Bosques Nativos
14	Aguas Arriba Textilera (Tala de árboles)	1094943,06	1061377,28	Bosques Plantados y Cultivos y Pastos
15	Río Gachaneca (Cascada) Aguas abajo de la Represa	1095557,8	1060132,55	Tierras Eriales y Bosque nativo.
16	Represa Gachaneca	1095035,01	1059394,75	Bosques Plantados y Tierras Eriales



Para el año 2020, los muestreos INSITU se siguieron tomando con una periodicidad semanal con ayuda del equipo multiparámetro Hanna HI9819 y HI9829, Sonda Faramacá y Boya; para este año no se siguió tomando datos en los puntos 14 (Aguas arriba de la Textilera) y 15 (Aguas debajo de la represa Gachaneca), quedando un total de 14 puntos de monitoreo. Así mismo, se realizó cuatro muestreos con ayuda del laboratorio acreditado por el IDEAM, dos en época de verano (tomados en el mes de Febrero de 2020 por el Laboratorio Quimicontrol Ltda y en el mes de Septiembre de 2020 por el Laboratorio Analizar Ltda) y otro para época de invierno (tomados en el mes de Diciembre de 2019 por el Laboratorio Hidrolab y en el mes de Septiembre de 2020 por el Laboratorio Analizar Ltda), para este caso solo se muestrearon los seis puntos más críticos según lo analizado con los equipos multiparámetros Tabla 10.

**Tabla 10.** *Ubicación de las 6 estaciones de monitoreo en la microcuenca Gachaneca.*

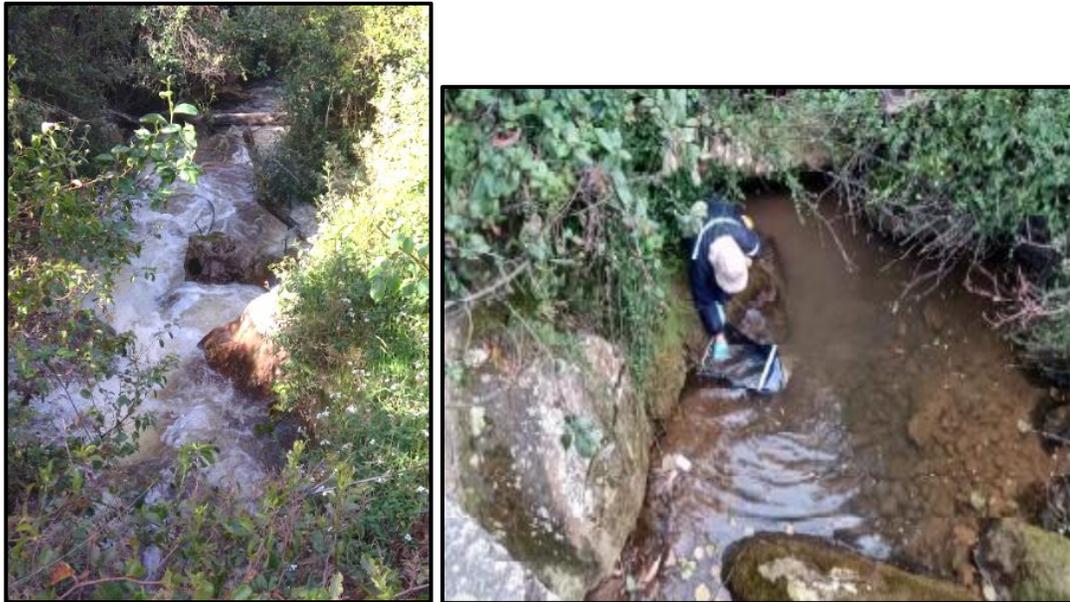
Punto	Estación de muestreo	Ubicación geográfica		Descripción del uso del suelo
		Norte	Este	
P1	Río Gachaneca	5°27'36.24''	73°32'5.91''	Tierras Eriales y Bosque nativo (Aguas Abajo Represa).
P2	Salida Empresa Acerías Paz del Río	5°28'11.87''	73°30'45.11''	Uso Minero.
P3	La Carpintería (Unión de Aguas de minas).	5°28'40.8''	73°31'19.8''	Uso Minero
P4	Empresa GFC	5°28'47.03''	73°30'44.10''	Uso Minero.
P5	Intersección salida Samacá (Puente)	5°30'13.1''	73°29'53.2''	Uso Agrícola (Unión de vertimientos mineros y agrícolas aguas arriba).
P6	Intersección vía principal	5°32'49.0''	73°29'29.5''	Uso Agrícola y Ganadero (Unión de todos los cauces incluyendo aguas residuales).



**Figura 3.** Ubicación espacial de las estaciones de muestreo.

**Fuente:** Recuperado Imagen Satelital Google Earth, 2020. **Elaboración:** Autora.

El primer punto de muestreo corresponde a la parte alta del Río Gachaneca, Figura 4, donde se encuentra la represa en medio de un ecosistema que no presenta graves alteraciones por actividades antropogénicas, es una zona que tiene buena vegetación y el agua es incolora, esta zona se presta para realizar caminatas ecológicas. Este punto se encuentra ubicado sobre el Páramo Rabanal la cual capta las aguas provenientes de la Represa Gachaneca 1 junto con las aguas subterráneas del páramo.



*Figura 4.* Punto 1 de muestreo – Río Gachaneca (Aguas Abajo Embalse).

El segundo punto de muestreo se seleccionó en las aguas provenientes de la Empresa Acerías Paz del Río Figura 5, este punto se encuentra sobre la Quebrada Tintoque, la cual está ubicada entre los límites de la Vereda Pataguy y Salamanca. Es evidente que estas aguas llevan alta carga de sedimentos y presenta fuertes olores.



*Figura 5.* Punto 2 de muestreo – Aguas provenientes de la Empresa Acerías Paz del Río.



El tercer punto se encuentra frente al Colegio Nacionalizado Sede La Fábrica y cerca a este punto se encuentra la unión de la red de drenajes de las Quebradas Tres Chorros y Quebrada Grande, estas aguas acumulan los vertimientos que hacen las industrias mineras.



*Figura 6.* Punto 3 de muestreo – La Carpintería.

El cuarto punto hace referencia a las aguas que cruzan el territorio de la empresa y están ubicadas sobre la Quebrada Pataguay. En este punto no solo hay vertimientos mineros, si no agrícolas y ganaderos.



*Figura 7.* Punto 4 de muestreo – Empresa GFC.



El quinto punto se encuentra a una distancia de 1.2 km del Municipio de Samacá y se encuentra ubicado sobre el río Gachaneca, sobre el puente de Samacá, aguas arriba a este punto se evidencio vertimientos mineros y agrícolas. En este punto suelen realizar deposición de basuras.



*Figura 8.* Punto 5 de muestreo – Puente de Samacá.

El punto 6 es la unión de todos los causes por ende de todas las actividades incluyendo la unión de aguas residuales.



*Figura 9.* Punto 6 de muestreo – Intersección vía principal.



### 6.3 Recolección de Muestras.

- **Muestreo Físicoquímico:** La metodología empleada para el desarrollo de trabajo de campo se basó en el protocolo nacional de monitoreo de calidad de cuerpos de agua, superficiales del IDEAM. En cada punto de muestreo se realizó dos tipos de monitoreo uno in situ y otro realizado por el Laboratorio Analizar Ltda. El monitoreo in situ se realizó por medio del equipo multiparámetro Hanna HI9819, Sonda Faramacá y sonda tipo Boya, el diseño de estas dos últimas pertenecen al proyecto “Plataforma de monitoreo para calidad del agua de la región de Samacá”, estas sondas analizaron datos de Ph, Temperatura, Conductividad eléctrica y Oxígeno disuelto. Durante primer año de monitoreo que inicio desde Agosto de 2019 solo se monitoreo con el equipo multiparámetro Hanna HI9819, ya que para los meses de Agosto de 2020 hasta Noviembre de 2020 se monitoreo con las tres sondas; el monitoreo se realizaba cada semana.

En cuanto al muestreo realizado por el Laboratorio Analizar Ltda, se realizaron dos campañas entre los meses de Septiembre y Octubre de 2020, correspondiente a los períodos de época de verano y época de invierno respectivamente, en estos períodos se encontraron una comunidad abundante y diversa de organismos bentónicos, así como las variables fisicoquímicas más definidas que presentó en el lugar de estudio. El procedimiento realizado para la toma de las muestras fue el llenado de 4 recipientes (3 de plástico y 1 de vidrio), éste último fue utilizado para el análisis de carbono orgánico total (COT), llenado sin dejar burbujas de aire dentro. La botella grande usada para analizar nutrientes orgánicos (nitrito, nitrato, amonio, fosfato, fósforo total, nitrógeno total, sulfato). La botella pequeña para analizar DBO. El recipiente pequeño con tapa roja para analizar DQO. Figura 10.



*Figura 10.* Envases utilizados durante los muestreos del Laboratorio Analizar Ltda.

- **Muestreo de macroinvertebrados:** Previo al muestreo, se realizó un análisis exploratorio de los diferentes hábitats presentes en cada uno de los sitios como macrófitas, hojarasca, palos, raíces, arena, limo, grava, guijarro, canto, bloque. El muestreo se delimitó según el tipo de sustrato, realizando un muestreo cuantitativo utilizando una red Surber de 30x30 cm de área (0,9 m<sup>2</sup>). Luego de remover el cuadrante por un tiempo de un minuto, con 5 réplicas se tomó una muestra integrada la cual fue depositada en una bolsa resellable con capacidad de 500 ml, las cuales fueron preservadas con solución de alcohol al 70%, posteriormente son rotuladas y se identifican el sitio de muestreo, comunidad, fecha y preservante. Por otro lado, el Laboratorio Analizar Ltda, realizo dos campañas de muestreo entre los meses de Septiembre y Octubre de 2020.

#### 6.4 Índices de Calidad del Agua – Análisis Físicoquímicos.

- **Índice IRCA:** Las ecuaciones que determina el Índice de riesgo de la calidad del agua para el consumo humano – IRCA, están dadas por las ecuaciones (12) y (13). Los valores de los puntajes de riesgo según la resolución número 2115 de 2007, se toman de la siguiente forma: el olor se correlaciona con el color y se le asigna un puntaje de riesgo de 6, la



turbiedad se le asigna un puntaje de riesgo de 15 y el al pH se le asigna un puntaje de riesgo de 1.5.

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a todas las características}} * 100 \quad (12)$$

$$IRCA (\%) = \frac{IRCA_{pH} * 1.5 + IRCA_{turbiedad} * 15 + IRCA_{olor} * 6}{(1.5 + 15 + 6)} \quad (13)$$

Tabla 11. Clasificación IRCA.

Clasificación IRCA (%)	Color	Nivel de Riesgo
80.1 - 100	Rojo	Inviabil Sanitariamente
35.1 - 80	Amarillo	Alto
14.1 - 35	Verde	Medio
5.1 - 14	Azul	Bajo
0 - 5	Blanco	Sin Riesgo

Fuente: elaboración propia, Recuperado de la Resolución 2115 de 2007 MAVDT.

- **Índice ICA:** Con base a los datos obtenidos en el período de monitoreo, se realizaron una serie de cálculos que permiten ajustarlos a un valor comprendido entre 0 y 1, según la metodología "Determination of the water quality index-UWQI" (Boyacioglu, 2007). Este valor numérico se asocia a un índice ICA, el cual identifica la calidad del agua; este rango se subdivide en tres niveles y a cada nivel se le asigna un color; para casos prácticos, se puede representar como un semáforo Figura 11.

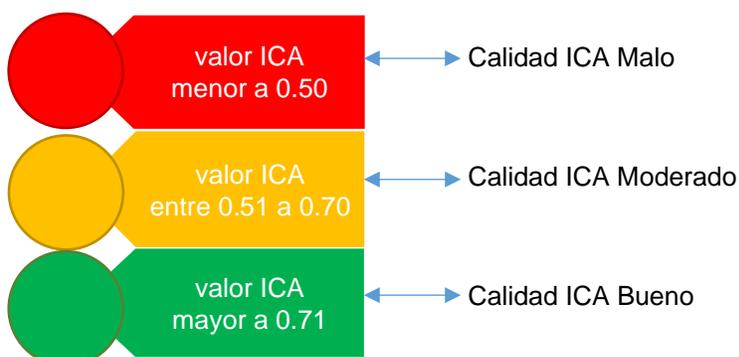


Figura 11. Categorización de los índices de calidad del agua – ICA.

Fuente: Elaboración propia, Recuperado (Boyacioglu,2007) "Determination of the water quality index-UWQI".



**Tabla 12.** Descriptores de Calidad del ICA.

Categoría de valores que puede tomar el indicador	Señal de alerta	Clificación de la calidad del agua
0.00 - 0.25		Muy Mala
0.26 - 0.50		Mala
0.51 - 0.70		Regular
0.71 - 0.90		Aceptable
0.91 - 1.00		Buena

**Fuente:** Elaboración propia, Recuperado IDEAM, 2011.

A continuación, se muestran los criterios con los cuales se calcularon los índices ICA de cada parámetro:

➤ **Oxígeno Disuelto (OD):**

$$iOD = 1 - [1 - 0.01 * \%Sat] \quad (14)$$

Si el porcentaje de saturación es mayor a 100 entonces el iOD es 1.

➤ **Potencial de hidrogeno (Ph):**

Si el pH es menor a 4 ( $pH < 4$ ) entonces el ipH será 0.1.

Si el pH está entre 4 y 7 ( $4 \leq pH \leq 7$ ) se calcula así:

$$ipH = 0.02628419 * e^{(pH*0.520025)} \quad (15)$$

Si el pH está entre 7 y 8 ( $7 < pH \leq 8$ ) entonces el ipH será 1.

Si el pH está entre 8 y 11 ( $8 < pH \leq 11$ ) se calcula así:

$$ipH = 1 * e^{(pH - 8) - 0.51887742} \quad (16)$$

Si el pH es mayor a 11 ( $pH > 11$ ) entonces el ipH será 0.1.

➤ **Conductividad Eléctrica (CE):**

$$iCE = 1 * 10^{(3.26+1.34 \log 10CE)} \quad (17)$$

Si CE es menor a 0 entonces iCE es 0.

➤ **Olor:** Los índices de olor se clasificaron como: Olor aceptable = 1 y Mal olor = 0.



- **Índice ICO'S:** El desarrollo de índices de contaminación, para valoración de la calidad de las aguas continentales, fue abordado por Ramírez et al., (1997), a partir de los resultados arrojados por la estadística multivariada de análisis de componentes principales, el cual ha sido usado de manera recurrente en otras latitudes y en Colombia para la caracterización de aguas dulceacuícolas y marinas (Margalef, 1983, Simoneau, 1986, El-Shaarawi et al., 1986, Ramírez, 1988, Boulton y Lake, 1990, Johnston et al., 1990, George et al., 1991, Matthews et al., 1991, Viña et al., 1991).

Esta técnica estadística fue aplicada en extensos programas de monitoreo, implementados por la industria del petróleo sobre diferentes regiones de Colombia (Oleoducto de Colombia - Ecopetrol ICP., 1993, Ocesa - Ecotest, 1997, BP Exploration - Ecotest, 1998) y gracias a ellos se identificaron correlaciones frecuentes y reiteradas entre múltiples variables físicas y químicas, las cuales dieron origen a la formulación de los siguientes cuatro índices de contaminación:

- **ICOMI** o índice de contaminación por mineralización, integra conductividad, dureza y alcalinidad.
- **ICOMO** o índice de contaminación por materia orgánica, conformado por demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno.
- **ICOSUS** o índice de contaminación por sólidos suspendidos.
- **ICOTRO** o índice de contaminación trófico, el cual se calcula con base en la concentración de fósforo total.

En su estudio, Ramírez et al. (1997) demostraron que tales índices son independientes y complementarios, por tanto, descubren problemas ambientales disímiles, subsanan todos y cada uno de los problemas previamente referidos para los ICA y permiten realizar una rápida interpretación del estado de la calidad del cuerpo de agua evaluado.



**Tabla 13.** Métodos implementados en el laboratorio para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	MÉTODO
Conductividad (A)	microsiemens/cm	SM 2510 B
Olor	Cualitativo	Organoléptico
pH (A)	Unidades de pH	SM 4500-H <sup>+</sup> B
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 2320 B
DQO Total (A)	mg O <sub>2</sub> /L	SM 5220 D SM 5210 B, SM 4500-O
DBO <sub>5</sub> Total (A)	mg O <sub>2</sub> /L	C/G
Dureza Total (A)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	SM 2340 C
Fosfatos (A)	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	SM 4500 - P B D
Sólidos suspendidos totales (A)	mg SST/L	SM 2540 D
Nitratos - N (A)	mg NO <sub>3</sub> -N/L	Salicilato Sódico/Rodier
Sulfatos (A)	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	SM 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E
Coliformes totales	UFC/100 cm <sup>3</sup>	SM 9222 J
E. Coli	UFC/100 cm <sup>3</sup>	SM 9222 J
Fluoruros	mg F/L	SM 4500-F <sup>-</sup> D
<u>Metales Totales por ICP-MS</u>		EPA 200.8: Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. Rev. 5.4. 1994.
Plomo (A)	mg Pb/L	SM 3030 E, SM 3113 B
Mercurio (A)	mg Hg/L	SM 3112 B
Arsénico (A)	mg As/L	SM 3030 K-SM 3114 C
Cadmio total (A)	mg Cd/L	SM 3030 E / SM 3111 B

**Fuente:** Elaboración propia, Recuperado Laboratorio Analizar, 2020.

## 6.5 Identificación de los Macroinvertebrados.

En cuanto al trabajo de laboratorio cada una de las muestras colectadas fueron seleccionadas con tamiz de 0,5 mm y el material retenido fue vertido en bandejas de fondo blanco para una fácil visualización. Los macroinvertebrados acuáticos se separaron con ayuda de pinzas, agujas entomológicas y estereoscopio. El material preservado se identificó hasta el nivel de familia, género o de ser posible a especie, utilizando técnicas de análisis. De acuerdo con el área



muestreada, se realizaron las conversiones necesarias para expresar los resultados como individuos por metro cuadrado (Ind/m<sup>2</sup>).



**Figura 12.** Macroinvertebrados identificados en la cuenca del Río Gachaneca en época de invierno.

**Fuente:** Elaboración propia, Recuperado Resultados Laboratorio Analizar, 2020.

### 6.6 Análisis Ecológico de Especies y Comparación con Bibliografía.

Con las especies de macroinvertebrados encontradas se realizó un análisis ecológico de las familias y género en cuanto, preferencias de hábitat y rangos de tolerancia, pero luego comparar con bibliografía de autores que han venido realizando investigación en ríos de alta montaña y distribución de macroinvertebrados en Colombia. Esto con el fin de entender la distribución y abundancia de estas especies en los sitios de muestreo.

- **Índices de Biodiversidad:** Se evalúa a partir de descriptores de la comunidad, que relacionan la estructura y diversidad biológica con la heterogeneidad, teniendo en cuenta la uniformidad y riqueza de las especies. En la Tabla 14 se detallan los diferentes índices que se utilizaron en la investigación los cuales están asociados con las comunidades de macroinvertebrados.

**Tabla 14.** Índices de Biodiversidad.

ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD	TIPOS DE ÍNDICES A UTILIZAR
Índices de Diversidad	Índice de Simpson Índice de Shannon Índice de Pielou



---

Índice de Sensibilidad	Índice de Margalef
Índice de Similitud	Índice de Sensibilidad Carrera y Fierro
	Índice de Jaccard
	Índice de Bray Curtis

---

- **Simpson (D):** Es conocido como índice de dominancia, se basa en la probabilidad que dos organismos tomados al azar sean de la misma especie. Así mismo, permite el análisis de la estructura de las comunidades en relación con su abundancia, identificando aquellas especies más dominantes en el hábitat. Es de resaltar que un incremento en la dominancia, disminuye en la diversidad. Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$D = \sum P_i^2 \quad (18)$$

$$S = 1 - \sum P_i^2 \quad (19)$$

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (20)$$

Donde:

**D** = Índice de dominancia de Simpson

**S** = Índice de Simpson (diversidad).

**P<sub>i</sub>** = Abundancia Relativa.

**n<sub>i</sub>** = Número de individuos de la especie i.

**N** = Número total de individuos para todas las S en la comunidad.

Este índice estima si en un área determinada hay especies muy dominantes y le da poca importancia a las especies raras o menos abundantes. Un sistema es más diverso cuanto menos dominancia de especies hay o en otras palabras cuando la distribución es más equitativa. Se basa en la abundancia proporcional de especies, considerando que una comunidad es más diversa mientras mayor sea el número de especies que la compongan



y mientras menor sea la dominancia de una especie con respecto a las demás (Moreno, 2001).

**Tabla 15. Clasificación de dominancia de Simpson.**

CALIDAD DE AGUA	CLASIFICACIÓN
Muy contaminado	0 – 1
Moderadamente contaminado	1 – 3
Buena calidad	> 3

**Fuente:** Elaboración Propia, recuperado de Moreno 2001 y Villareal et al., 2004.

**Tabla 16. Índice de Diversidad de Simpson.**

CARACTERÍSTICA	RANGO
Muy Baja Diversidad o Muy Alta Dominancia	0 – 0.5
Baja Diversidad o Alta Dominancia	>0.5 – 0.7
Diversidad y Dominancia Media	>0.7 – 0.8
Alta Diversidad o Baja Dominancia	>0.8 – 0.9
Muy Alta Diversidad o Muy Baja Dominancia	>0.9 – 1

**Fuente:** Elaboración Propia, recuperado de Moreno 2001 y Villareal et al., 2004.

- **Shannon (H')**: Este índice considera que los individuos se muestrean aleatoriamente y que la población es representativamente grande. Este índice maneja un rango de 0.0 hasta 4.5 donde los valores cercanos a cero representan una baja diversidad y valores próximos a 4.5 una elevada diversidad. Esta medida de diversidad atribuye un mayor peso a las especies raras en la muestra. El cálculo se establece mediante la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum P_i * (\ln P_i ) \quad (21)$$

Donde:

H' = Índice de diversidad de Shannon – Weaver.

P<sub>i</sub> = Abundancia Relativa.

**Tabla 17. Clasificación de Diversidad de Shannon – Weaver (1949).**

SENSIBILIDAD	CLASIFICACION
Menor Dominancia – Mayor Diversidad	0
Mayor Dominancia – Menor Diversidad	1

**Fuente:** Elaboración Propia, recuperado Shannon – Weaver (1949).



**Tabla 18.** Índice de Diversidad de Shannon.

CARACTERÍSTICA	RANGO
Muy Baja Diversidad	<1
Baja Diversidad	>1 – 1.8
Diversidad Media	>1.8 – 2.1
Alta Diversidad	>2.1 – 2.3
Muy Alta Diversidad	>2.3

**Fuente:** Elaboración Propia, recuperado de Moreno 2001 y Villareal et al., 2004.

- **Pielou:** Es un índice de uniformidad o equidad, en el que se tiene en cuenta la relación entre la diversidad observada y la diversidad máxima la cual se refiere a la situación en la que todas las especies de la comunidad fueran igualmente abundantes. El valor del índice oscila entre 0 y 1, donde 1 representa la situación en la que todas las especies estén igualmente representadas. La medida está dada por:

$$E = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\ln S} \quad (22)$$

Donde:

**E** = La medida de uniformidad de Pielou.

**H'** = La medida diversidad calculada (Shannon - Wiener).

**H<sub>max</sub>** = La diversidad máxima esperada para S (número de especies) con igual número de abundancias.

**Tabla 19.** Clasificación de Equidad de Pielou (1966).

SENSIBILIDAD	CLASIFICACIÓN
Mínima equidad – Mayor Contaminación	0
Mayor equidad – Menor Contaminación – Diversidad Máxima	1

- **Índice de Margalef:** El índice de Margalef es un índice de riqueza en el cual se transforma el número de especies detectadas por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra (Moreno, 2001). Para el cálculo de este índice de diversidad, se determinó la siguiente formula:



$$I = \frac{S-1}{\ln N} \quad (23)$$

Donde:

**S** = número de especies

**N** = número de individuos por especie.

**Tabla 20.** Índice de Diversidad de Margalef.

CARACTERÍSTICA	RANGO
Muy Baja Diversidad	<1
Baja Diversidad	>1 – 2
Diversidad Media	>2 – 2.7
Alta Diversidad	>2.7 – 3
Muy Alta Diversidad	>3

**Fuente:** Elaboración Propia, recuperado de Moreno 2001 y Villareal et al., 2004.

- **Índice de Sensibilidad:** Este índice toma en cuenta el grado de sensibilidad que tienen las diferentes familias de macroinvertebrados a los contaminantes. Por esta razón, se determinó la presencia de los diferentes grupos de macroinvertebrados, y no su abundancia y se asignó un número que indica su sensibilidad a los contaminantes Tabla 21. Luego se sumó cada familia encontrada en el estudio y se comparó con las categorías de calidad de agua que van desde muy bueno a muy malo.

**Tabla 21.** Valores de sensibilidad para las diferentes familias de macroinvertebrados.

CLASIFICACIÓN	SENSIBILIDAD	CLASIFICACIÓN	SENSIBILIDAD
Anisoptera	8	Leptohyphidae	7
Physidae	3	Leptophlebiidae	9
Baetidae	7	Naucoridae	7
Ceratopogonidae	3	Oligochaeta	1
Chinomidae	2	Oligoneuridae	10
Corydalidae	6	Perlidae	10
Elidae	6	Philopotamidae	8
Euthyplociidae	9	Psephenidae	10
Gastropoda	3	Ptilodactylidae	10
Glossosomatidae	7	Pyralidae	5
Gordioidea	3	Simuliidae	8
Hirudinae	3	Tipulidae	3



Hydrachnidae	10	Turbelaria	5
Hydrobiosidae	9	Veliidae	8
Hydropsichidae	5	Zygoptera	8
Leptoceridae	9	Otros grupos	?

*Fuente: Elaboración propia, Recuperado de Carrera y fierro, 2001.*

Este índice clasifica el valor de acuerdo con los cinco grupos, calcula el rango a través de la suma de cada familia encontrada en el estudio y se determinará las categorías de calidad de agua de acuerdo a los datos obtenidos en la investigación Tabla 22.

**Tabla 22.** Índice de sensibilidad para determinar la calidad de agua.

SENSIBILIDAD	CALIDAD DE AGUA	CLASIFICACIÓN
No aceptan contaminantes	Muy buena	101 – 145
Aceptan muy pocos contaminantes	Buena	61 – 100
Aceptan poco contaminantes	Regular	36 – 60
Aceptan mayor cantidad de contaminantes	Mala	16 – 35
Aceptan muchos contaminantes	Muy Mala	0 - 15

*Fuente: Elaboración propia, Recuperado de Carrera y fierro, 2001.*

- **Índice de Similitud de Jaccard:** Expresan el grado en que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad Beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Magurran, 1988). El intervalo de valores para este índice va de 0 cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios, hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies (Moreno, 2001).

**Tabla 23.** Índice de similitud de Jaccard.

CARACTERÍSTICA	RANGO
Muy baja Semejanza	0 – 0.2
Baja Semejanza	>0.2 – 0.4
Semejanza Media	>0.4 – 0.6
Alta Semejanza	>0.6 – 0.8
Muy Alta Semejanza	>0.8 – 1

*Fuente: Elaboración Propia, recuperado de Moreno 2001 y Villareal et al., 2004.*



- **Análisis de similitud (Cluster) Bray Curtis:** Por medio de un análisis de similitud (Bray Curtis) se estableció el grado de similitud entre comunidades a través de Dendrograma. Se estableció un Dendrograma para comunidades por replica y otro para sitio, con el propósito de expresar el grado de semejanza en composición de especies en dos o más muestras. El índice de Bray-Curtis es un coeficiente de distancia que mide las diferencias en abundancia de los taxones que componen las muestras e ignora los casos en los cuales el taxón está ausente en ambas muestras.
  
- **Índice de BMWP/COL:** Se utilizó el método de Biological Monitoring Working Party el cual es un índice exclusivo para comunidades de macroinvertebrados, consiste en un sistema de puntaje que evalúa la calidad del agua basándose en las familias de invertebrados acuáticos que están presentes en el Río (Hawkes, 1997).

El índice de BMWP para macroinvertebrados genera un puntaje resultado del grado de tolerancia de los diferentes grupos de familias a la contaminación. Un alto puntaje en el índice es considerado un reflejo de una mejor calidad de agua, el puntaje se presenta en un rango de 0 a 10. La sumatoria total de los puntajes proporciona el puntaje total BMWP y se comprende entre un rango de 0- 100 (Zamora- Muñoz, 1996).

Con base en el conocimiento que se tiene en Colombia sobre los diferentes grupos de macroinvertebrados hasta familia y su distribución en las cuencas y cuerpos de agua en el país, se propuso utilizar el método (BMWP/Col) con el fin de evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña y establecer el nivel de afectación a través de las especies de macroinvertebrados encontradas (Tabla 4) (Roldan, 2003).

La tabla 5 muestra las cinco clases de calidad de agua que dan al sumar la puntuación de las familias encontradas en el área de muestreo. El total de los puntos se designan



como valores BMWP/Col. De acuerdo con el puntaje obtenido se clasifica en las distintas clases de agua, y su color correspondiente.

- **Índice EPT:** Según Carrera y Fierro (2001) definen que el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), permite analizar tres grupos de macroinvertebrados considerados como bioindicadores por su alta sensibilidad ante la presencia de contaminantes. Para el cálculo de este índice se sumó la abundancia de cada individuo por cada una de las familias pertenecientes a los órdenes: Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera el resultado se dividió para el total de abundancia de individuos presentes en cada uno de los puntos de muestreo y se multiplicó por cien, el resultado es un porcentaje que tiene cuatro categorías, Tabla 24.

**Tabla 24.** *Escala de Valores Índice EPT.*

EPT	CALIDAD DEL AGUA
0 – 24%	Mala
25 – 49%	Regular
50 – 74%	Buena
75 – 100%	Muy buena

**Fuente:** Elaboración propia, Recuperado de Carrera y Fierro, 2001.

- **Índice ABI (Indica Biótico Andino):** Elaborado por estudios que incluyen descripciones taxonómicas hasta estudios ecológicos y de impacto ambiental, su cálculo es similar al índice BMWP, pero se enfoca en grupos de macroinvertebrados presentes en zonas altoandinas, que tienen su distribución por encima de los 2000 m s.n.m, que para el caso del Municipio de Samacá es factible evaluar este índice, ya que se encuentra en la Cordillera Oriental de los Andes colombianos a una altura de 2765 m s.n.m. El índice ABI



consistirá en una suma de las puntuaciones de todas las familias presentes en el sitio. En la Tabla 25, se muestran los niveles de tolerancia/sensibilidad de cada familia los cuales se han derivado principalmente de presiones provenientes de contaminación orgánica.

**Tabla 25.** Clase y valores ABI, Criterios de Calidad.

ORDEN	FAMILIA	PUNTUACIÓN	ORDEN	FAMILIA	PUNTUACIÓN
Turbellaria		5	Lepidoptera	Pyrilidae	4
Hirudinea		3	Coleoptera	Ptilodactylidae	5
Oligochaeta		1			
Gasteropoda	Ancylidae	6			
	Physidae	3		(Helodidae)	5
	Hydrobiidae	3		Staphylinidae	3
	Limnaeidae	3		Elmidae	5
	Planorbidae	3		Dryopidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Gyrinidae	3
Amphipoda	Hyalellidae	6		Dytiscidae	3
Ostracoda		3		Hydrophilidae	3
Hydracarina		4		Hydraenidae	5
Ephemeroptera	Baetidae	4	Diptera	Blepharoceridae	10
	Leptophlebiidae	10		Simuliidae	5
	Leptohephidae	7		Tabanidae	4
	Oligoneuridae	10		Tipulidae	5
Odonata	Aeshnidae	6		Limoniidae	4
	Gomphidae	8		Ceratopogonidae	4
	Libellulidae	6		Dixidae	4
	Coenagrionidae	6		Psychodidae	3
	Calopterygidae	8		Dolichopodidae	4
	Polythoridae	10		Stratiomyidae	4
Plecoptera	Perlidae	10		Empididae	4
	Gripopterygidae	10		Chironomidae	2
Heteroptera	Veliidae	5		Culicidae	2
	Gerridae	5		Muscidae	2
	Corixidae	5		Ephydriidae	2
	Notonectidae	5		Athericidae	10
	Belostomatidae	4		Syrphidae	1
Trichoptera	Helicopsychidae	10			
	Calamoceratidae	10			
	Leptoceridae	8			
	Hydroptilidae	6			
	Hydrobiosidae	8			
	Glossosomatidae	7			
	Anomalopsychidae	10			
	Philopotamidae	8			
	Limnephilidae	7			

**Fuente:** Elaboración propia, Recuperado de Ríos, Acosta y Prat, 2009.



De acuerdo con este índice se clasificó en cinco grupos Tabla 26, para el cálculo de este, se sumó el valor asignado a cada familia encontrado en el estudio de acuerdo con su valoración y se comparó entre los criterios de calidad que van de buena a muy crítica, queriendo obtener el grado de contaminación o no, en el que se encuentre el ecosistema hídrico de forma que brindó un criterio de calidad con el que se evaluó el ecosistema.

**Tabla 26. Clases de calidad de agua y valores ABI.**

ABI	CALIDAD DEL AGUA	Color
>150, 101 – 120	Aguas muy limpias a limpias	
61 – 100	Aguas ligeramente contaminadas	
36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas	
16 – 35	Aguas muy contaminadas	
<15	Aguas fuertemente contaminadas	

**Fuente:** Elaboración propia, Recuperado de Ríos, Acosta y Prat, 2014.

- **Correlación entre los parámetros físico-químicos y fisicoquímicos - macroinvertebrados:** La necesidad y utilidad de un análisis de correlación tiene especial importancia dentro del estudio puesto que es una forma muy clara de analizar los datos y su interacción entre ellos, ya sea directa o inversa, además de un valor de significancia que determina la intensidad de la relación entre ciertos parámetros, los cuales de este modo pueden ser expresados, analizados y descritos de manera rápida y sencilla. Además de la correlación entre parámetros, también se consideró interesante el uso de valores altitudinales y espaciales, pues estos dan una mejor visión de la distribución de las diferentes calidades de agua y la variedad de actividades generalizadas en la cuenca por zonas, ya sea alta, media y baja.



### **6.7 Caracterización y Esquematización de la Cuenca del Río Gachaneca.**

Para la caracterización del Río Gachaneca dentro del estudio, se implementará la metodología de investigación bibliográfica, en donde se tendrá en cuenta el Esquema de ordenamiento territorial del Municipio de Samacá, información del DANE, la Asociación de usuarios del distrito de adecuación de tierras – ASUSA, entre otros. Para la búsqueda, recopilación, localización, identificación y acceso de la siguiente información:

- Definir la Red Hidrológica de orden principal y secundario.
- Ubicar espacialmente los centros urbanos, canales del distrito de riesgo y represa que están ubicados dentro del área de influencia directa al proyecto.
- Determinar la cobertura vegetal presente y uso del suelo del Municipio.
- Ubicar espacialmente las áreas de influencia de las actividades socioeconómicas.
- Ubicar los puntos de muestreo.
- Identificar puntos de vertimientos y/o descarga de aguas residuales.
- Identificar puntos de suministro de acueducto.
- Ubicar los puntos de extracción industrial y para uso de riesgo.

Luego con el levantamiento de la información anteriormente descrita se procede a esquematizar el Río Gachaneca para generar un mapa del estado actual de la red hídrica y definir las zonas críticas de la red hidrológica para disminuir el monitoreo y realizar tomas con mayor frecuencia.

### **6.8 Alternativas de Sostenibilidad.**

Luego de realizar la evaluación integral de la calidad del agua, se procede a proponer alternativas sostenibles para coadyuvar a la recuperación de la calidad de vida de las poblaciones



que están ubicadas en el área de influencia directa del Río Gachaneca y así potenciar el enfoque de la gestión comunitaria, como base de la sostenibilidad y constructor del tejido social.

## **7. ANÁLISIS DE RESULTADOS y DISCUSIÓN.**

### **7.1 Caracterización y Esquematzación del Río Gachaneca.**

La microcuenca del Río Gachaneca se ubica en el Municipio de Samacá, en donde captan el agua para consumo y riego en el páramo de Rabanal. Según el censo 2005 este municipio tenía una población de 17.614 habitantes, esta población ha venido incrementando en los últimos años debido a la oferta en la explotación minera y producción de carbón coque especialmente. El aumento en la producción de carbón coque, hace que se demande más agua especialmente para el apagado de los hornos. También el aumento de la población asentada especialmente en el casco urbano y algún incremento en el sector rural hace que en la actualidad la demanda de este recurso sea cada vez más alta. Por otra parte, el municipio de Samacá cuenca con un distrito de riego y canales que surten agua a las veredas de La Chorrera, Salamanca, Pataguy, Tibaquirá, Ruchical, Churuvita, Quite y el Rincon. En donde los usos de suelo característicos para estas veredas son Ganadería y Agricultura; Las veredas de La Chorrera, Salamanca y Loma Redonda se caracterizan además de los anteriores usos, por tener uso minero e industrial.

Dentro del área de influencia de la microcuenca del Río Gachaneca que captan las aguas del páramo de Rabanal hay presentes 54 acueductos, según información suministrada por la Asociación de usuarios del distrito de adecuación de tierras – ASUSA, el acueducto con mayor número de usuarios es el de La vereda Ruchical con 1295 que tiene como lugar de captación el nacimiento La Manita, su uso es domiciliario y está organizado en una Asociación de suscriptores del acueducto de Ruchical. Le sigue el acueducto del Centro con 1273 usuarios, su lugar de captación es el nacimiento Las Lomas y Las Delicias; en tercer lugar, se ubica el acueducto del Casco urbano con 1215 usuarios con fuente de captación en Teatinos y un nacimiento. El acueducto con menos número de usuarios es uno de la vereda Chorrera con 17 usuarios y el cual su uso es industrial. De los 54 acueductos 9 son de uso industrial, 3 para uso domiciliario y



abrevadero, 1 para uso domiciliario y riego; 6 para riego y abrevadero; 1 para riego, 1 para uso de abrevadero y 33 para uso únicamente domiciliario. Según ASUSA la mayoría de las fuentes hídricas que surten los acueductos, están por debajo de 4 litros por segundo en caudales totales, y la gran mayoría de ellos están por debajo de 2 litros por segundo, (se debe aclarar que 8 fuentes, no presentan datos de caudales que surten acueductos). Solo tres de los 54 acueductos cuentan con planta de tratamiento de agua (Casco Urbano de la fuente Teatinos y un nacimiento, Vereda Gachaneca de la fuente del Río Gachaneca y Casco Urbano de la fuente Teatinos y pozo profundo), todos están legalizados es decir cuentan con personería jurídica y con concesión de aguas, así como con estatutos, el estado de conservación de las fuentes donde captan el agua se observa en buen estado. Todos cobran por el servicio una cuota que se acuerda en conjunto con los usuarios y esta oscila entre los \$ 5.000 y los \$ 80.000.000 en el caso industrial. En la actualidad hay solicitudes de afiliación de usuarios, pero las juntas no han adjudicado ningún derecho, debido a que consideran que no hay suficiente agua y no se podría ofrecer un buen servicio. En el acueducto de Loma redonda presenta conflictos por su deficiente prestación en el servicio, debido a que algunos usuarios les llegan normalmente buena presión y continuamente; mientras que a otros les llega cada dos días el servicio. Esto está generando rencillas especialmente entre el fontanero y algunos usuarios.

La mayoría de los acueductos no han sido ampliados, posiblemente se debe a que no ha habido nuevas solicitudes de usuarios o a que se estén formando nuevos acueductos. Solo 2 acueductos de los identificados hasta ahora no han realizados estudios de calidad de aguas los demás tienen sus estudios. Aunque a la fecha se sabe que hay más acueductos en el momento no se ha hecho ningún tipo de acercamiento a verificar información.

Con la información suministrada por la Asociación de usuarios del distrito de adecuación de tierras – ASUSA, se esquematizo el cauce del Río Gachaneca, teniendo en cuenta el canal de



riego, los diferentes afluentes que abastecen al Río Gachaneca, Los acueductos presentes en el área de estudio, extracciones industriales y para uso de riego, así como las descargas residuales.

Lo anterior, se puede evidenciar en las Figuras 13, 14, 15 y 16. Ver Anexo – I.



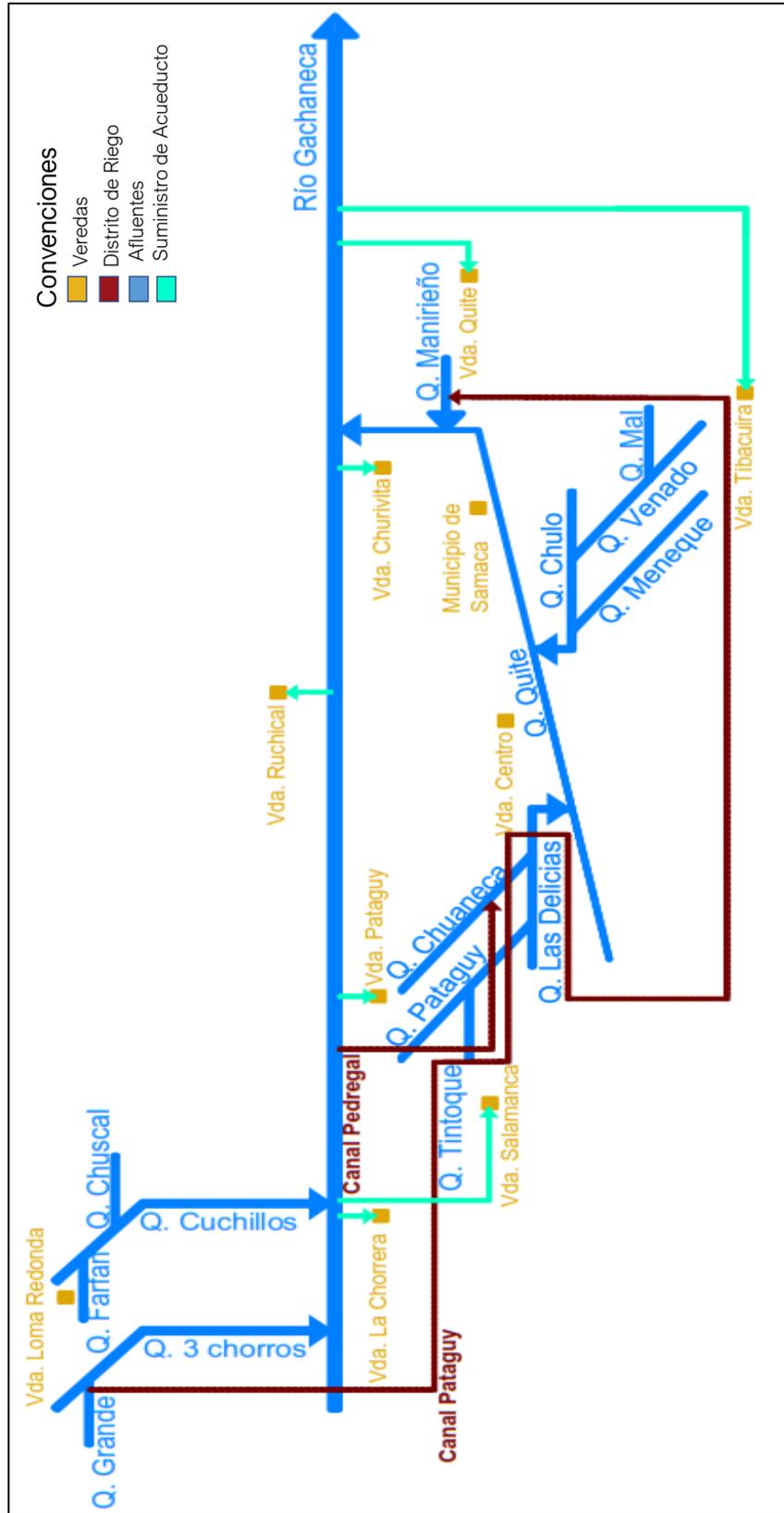


Figura 14. Esquema del suministro de acueducto del cauce del Río Gachaneca.



Figura 15. Esquema de las extracciones industriales y para uso de riego del cauce del Río Gachaneca.

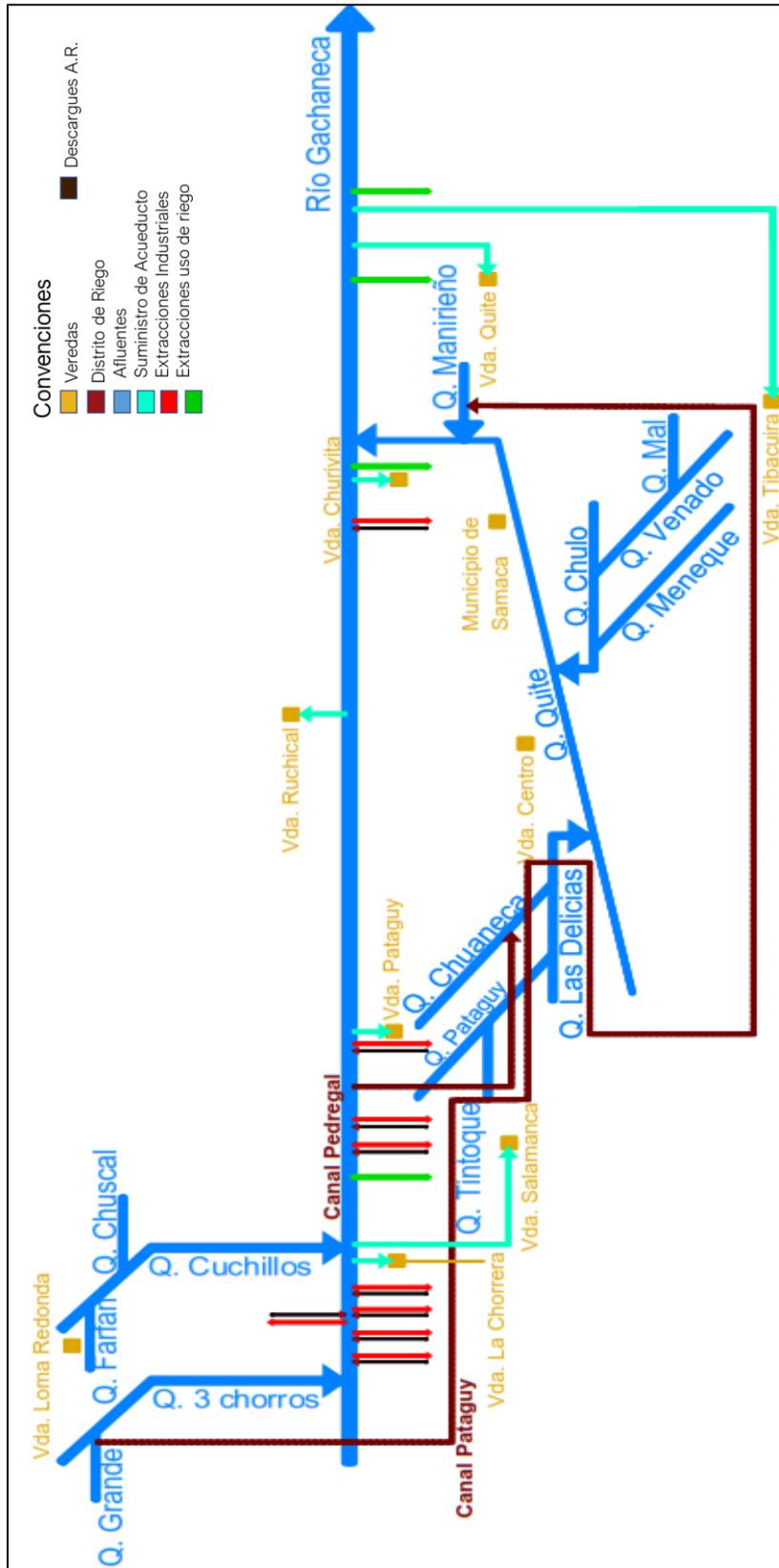


Figura 16. Esquema de los descargues de aguas residuales del cauce del Río Gachaneca.



Teniendo en cuenta, la anterior esquematización de la cuenca del Río Gachaneca, se puede determinar que el recurso hídrico superficial guarda relación con las actividades antrópicas que se adelantan en el Municipio de Samacá por donde trascurren y localizan los ríos y quebradas. Esta relación se aprecia particularmente en los cuerpos hídricos de las veredas La Chorrera, Salamanca, Pataguy, Tibaquira, Ruchical, Churuvita, Quite y Loma Redonda, de donde son característicos el Río Gachaneca, Quebrada Quite, estas son surtidas por las Quebradas Cuchillos, Grande, Tintoque, Pataguy, Chuaneca, las delicias, El Chulo y Manirieño; así como el distrito de riego y los canales de distribución.

El recorrido del distrito de riego empieza por la Quebrada La Grande, Tintoque, Chuaneca, Manirieño, Meneque, Venado, Mal, conecta con el punto intersección vía Cucaita – Samacá sobre el Río Gachaneca, Quebrada Farfán hasta llegar a la Represa Gachaneca. Se esquematizo el canal Pedregal con su recorrido desde el Río Gachaneca, Quebrada Tintoque hasta la Quebrada Chuaneca y el canal Pataguy con su recorrido desde la Quebrada La Grande, Quebrada Tintoque, Quebrada Pataguy, Quebrada Chuaneca hasta la Quebrada Manirieño.

La población beneficiada fue las veredas La Chorrera con uso del suelo ganadero, vereda Salamanca con uso del suelo ganadero y agrícola, vereda Pataguy con uso del suelo ganadero, vereda Tibaquira con uso del suelo agrícola, vereda Ruchical con uso del suelo ganadero en su mayoría, vereda Churuvita con uso del suelo agrícola y la vereda Quite con uso del suelo agrícola. La fuente principal de suministro para los usuarios son las represas Gachaneca 1 y Gachaneca 2.

Las empresas que extraen agua del Río Gachaneca para uso industrial y minero son C.I Milpa y PRODISER (Vereda Salamanca y Loma Redonda) y las Empresas familiares de Luis Álvaro Ramírez Rodríguez (Vereda Chorrera), Luis Iancheros (Vereda Chorrera), Luis Hernando Ramírez (Vereda Chorrera), Jorge Ramírez Rodríguez (Vereda Chorrera con concesión de agua de la Quebrada La Peña) y Familia Grijalba Silva (Vereda Salamanca). Los afluentes a donde están



enviando la mayoría de las descargas producto de la Minería son Río Gachaneca, Quebrada Cuchinillos y Quebrada el Ancón.

## **7.2 Evaluación y cuantificación del grado de contaminación.**

La evaluación de la calidad en la que se encuentra un afluente desde una perspectiva biológica se considera en como un lugar se organizan y desarrollan las dinámicas ecológicas de los ecosistemas, Londoño, Moreno, & Suarez (2017). El Río Gachaneca presenta una abundante vegetación de ribera en la parte alta de la cuenca, diversidad de sustratos y diferentes caudales a lo largo de la corriente, por lo cual esto explica los valores obtenidos en las variables de evaluación y cuantificación fisicoquímicas.

### **7.2.1 Variables Fisicoquímicas.**

Inicialmente se analizaron 16 puntos mediante un monitoreo semanal por un tiempo de 9 meses entre el período de Agosto de 2019 a Mayo de 2020 con el equipo Hanna HI9819 donde se recolectaron datos de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH, olor y turbidez de la microcuenca del Río Gachaneca, para evaluar la influencia de las diferentes actividades antrópicas que se presentan en el área de influencia directa. Los datos arrojados se evidencian en la tabla 27.



**Tabla 27.** Resumen de los datos monitoreados con el equipo Hanna HI9819.

Estacion	pH prom	oX prom	Cond Prom $\mu\text{S}/\text{cm}$	Olor Prom	Temp Prom $^{\circ}\text{C}$	IOD	ICE	IpH	Iolor	IRT1
1	7,23	39,4	1681	Bueno	18,20	0,39	0,00	1,00	1,00	0,63
2	2,00	*	*	Malo	*	0,20	0,00	0,10	0,00	0,08
3	6,02	49,3	319	Malo	14,99	0,49	0,00	0,60	0,00	0,27
4	7,12	*	*	Bueno	18,11	0,20	0,00	1,00	1,00	0,57
5	6,74	64,6	560	Malo	17,87	0,65	0,00	0,87	0,00	0,38
6	7,31	47,2	534	Bueno	14,98	0,47	0,00	1,00	1,00	0,66
7	7,09	73,2	532	Malo	18,37	0,73	0,00	1,00	1,00	0,45
8	6,63	30,0	582	Bueno	18,52	0,30	0,00	0,83	1,00	0,53
9	6,74	40,1	333	Bueno	15,32	0,40	0,00	0,87	1,00	0,57
10	4,43	54,5	1077	Malo	13,71	0,55	0,00	0,26	1,00	0,20
11	5,19	70,8	1360	Malo	14,29	0,71	0,00	0,39	1,00	0,28
12	6,50	48,6	123	Bueno	13,54	0,49	0,65	0,77	1,00	0,73
13	6,47	48,8	128	Bueno	11,61	0,49	0,64	0,76	1,00	0,72
14	6,61	65,1	33	Bueno	8,61	0,65	0,94	0,82	1,00	0,85
15	4,44	51,6	22	Bueno	11,09	0,52	0,97	0,26	1,00	0,69
16	5,10	47,1	15	Bueno	12,18	0,47	0,98	0,37	1,00	0,71

Según los datos de la tabla anterior, se determinaron los cálculos de los índices ICA e IRCA, realizando el promedio de los datos recolectados en este período, como se puede evidenciar en la Tabla 28 y en la figura 17 del mapa de riesgo de la calidad del agua en la microcuenca.

**Tabla 28.** Parámetros de calidad del agua monitoreados y clasificación de los índices ICA e IRCA.

Punto	Estacion de muestreo	pH	Oxígeno (%)	Conductividad ad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Olor	Tubidez (NTU)	Tempratura ( $^{\circ}\text{C}$ )	ICA	IRCA	Actividad economica local
1	Intersección vía principal (Unión de todos los vertimientos)	7,23	39	1681	Aceptable	20	18,20	0,63	67	Zona Agrícola y Ganadera
2	Quebrada el Chulo (Aguas Residuales)	2,00	***	***	Inaceptable	432	***	0,08	100	Zona Agrícola
3	Intersección salida Samaca (Puente)	6,02	49	319	Inaceptable	20	14,99	0,27	100	Zona Agrícola
4	Vallado Las Delicias (Canal - Vía)	7,12	***	***	Aceptable	15	18,11	0,57	67	Zona agrícola
5	Unión Qda de Quite y Qda del Chulo	6,74	65	560	Inaceptable	10	17,87	0,38	93	Zona agrícola
6	Aguas Abajo Salida Municipio de Samaca	7,31	47	534	Aceptable	11	14,98	0,66	67	Zona urbana
8	Canal en las afueras de la Empresa GFC	6,63	30	582	Aceptable	20	18,52	0,53	67	Zona Agrícola y Minera
7	Empresa GFC	7,09	73	532	Inaceptable	20	18,37	0,45	93	Zona Minera
9	Textilera	6,74	40	333	Aceptable	18	15,32	0,57	67	Zona Industrial y Ganadera
10	La Carpintería (Unión de Aguas de minas)	4,43	55	1077	Inaceptable	86	13,71	0,20	100	Zona Minera
11	Salida Empresa Acerías Paz del Río	5,19	71	1360	Inaceptable	14	14,29	0,28	100	Zona Minera
12	Nacedero Qda. Pataguy - Ganadería	6,50	49	123	Aceptable	17	13,54	0,73	73	Zona ganadera
13	Nacedero Qda. Pataguy - Mana	6,47	49	128	Aceptable	5	11,61	0,72	75	Zona Agrícola
14	Aguas Arriba Textilera (Tala de árboles)	6,61	65	33	Aceptable	9	8,61	0,85	67	Zona de tala, Bosques y Cultivos
15	Río Gachaneca (Cascada) Aguas abajo de la Represa	4,44	52	22	Aceptable	2	11,09	0,69	7	Zona de pastos y Bosque
16	Represa Gachaneca	5,10	47	15	Aceptable	2	12,18	0,71	7	Zona de pastos y Bosque

Nota: \*\*\*No se lograron tomar registros del parámetro en la estación de monitoreo.

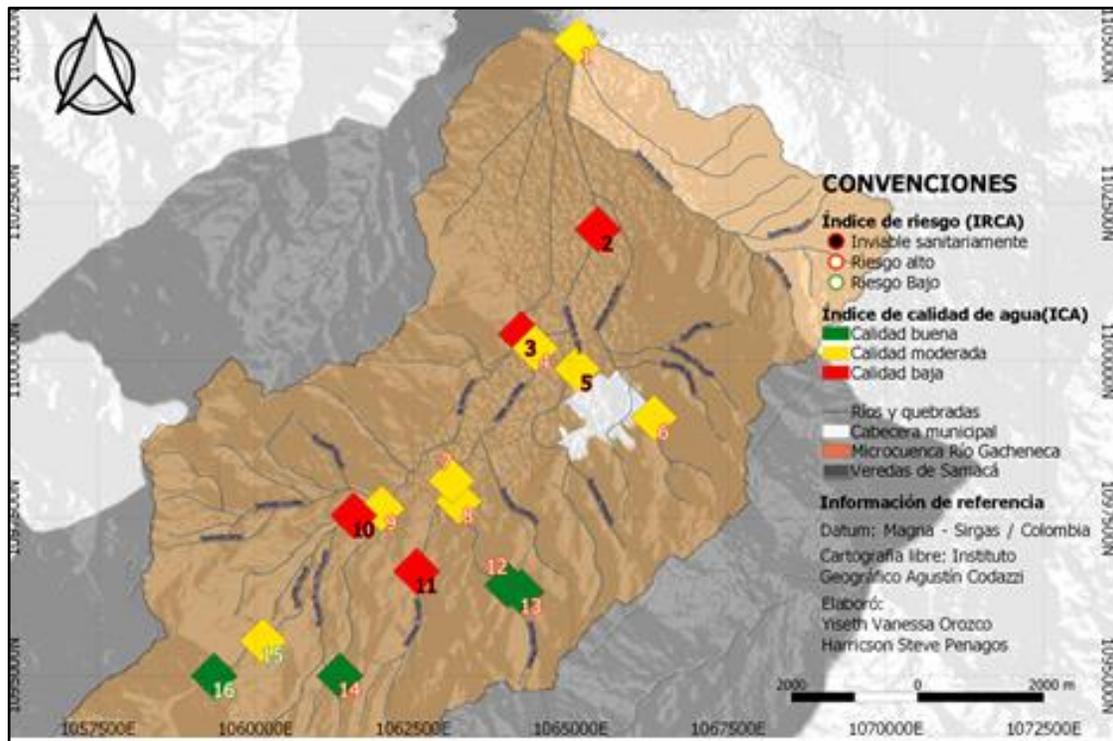


Figura 17. Mapa de riesgo e índice de la Calidad del Agua de la microcuenca del Río Gachaneca.

Acorde al análisis de los datos recolectados se puede determinar que en el punto 16 Represa Gachaneca tiene un índice de riesgo bajo y una calidad de agua buena, esto se debe a la cobertura vegetal presente en esta área, las cuales son áreas protegidas. En cuanto a los puntos de monitoreo 4,5,6,7,8,9 y 15 presentan un ICA moderado, pero un IRCA de riesgo alto ya que en estos puntos están asociados a vertimientos mineros y agroindustriales, a diferencia del punto 15 que presento un IRCA muy bajo, esto se debe a la vegetación nativa y áreas protegidas donde está ubicado; en estos puntos los valores están sobre el límite óptimo para el consumo de agua. Para los puntos 2,3,10 y 11 presenta un ICA bajo e índice IRCA inviablemente sanitario, esto se debe porque están asociados a vertimientos de aguas residuales y vertimientos de las empresas mineras, encontrándose en estado crítico en ambos criterios. Para los puntos 12, 13 y 14 presentaron un índice ICA que corresponde a calidad buena, esto se debe a que son aguas sin vertimientos agrícolas, mineros o industriales y su índice IRCA es alto debido a que la turbiedad en estos puntos está en un rango mayor al máximo aceptable. En cuanto al punto 1 a pesar que



es el punto donde se recogen las aguas con todos los vertimientos de las diferentes actividades antrópicas presentes en la microcuenca, incluyendo aguas de vertimientos sanitarios, se logró evaluar que su ICA es de calidad moderada y su IRCA presenta riesgo alto.

Para el período comprendido entre los meses de Junio a Septiembre del año 2020, se tomó la decisión de no seguir monitoreando los puntos 14 y 16 pertenecientes a las aguas arriba de la Textilera y la Represa Gachaneca respectivamente, ya que presentaba difícil acceso al momento de la toma de datos, para este período se contó con un análisis in situ con el equipo multiparámetro Hanna HI9819 y HI9829, Sonda Farmacá y sonda tipo Boya, estas dos últimas perteneciente al proyecto “Plataforma de monitoreo para calidad del agua de la región de Samacá”. El resumen de los datos de los 14 puntos muestreados se puede apreciar en la Tabla 29 y Figura 18.

**Tabla 29. Parámetros de calidad del agua y cálculo de los índices ICA e IRCA.**

	PARAMETROS				INDICES DE CALIDAD DEL AGUA							
	OD	CE	Ph	Turbiedad	i OD	i CE	i PH	ICA	CALIDAD	IRCA	CALIDAD	
P u n t o s	1	9,2	132	4	-	0,092	0,618	0,210	0,1842	Muy Mala	-	-
	2	26,705	226	4,5875	49,5	0,267	0,216	0,286	0,1537	Muy Mala	100	Inviabile Sanitariamente
	3	25,913	282	5,85	35,45	0,259	-0,055	0,551	0,1509	Muy Mala	100	Inviabile Sanitariamente
	4	13,408	186	4,5189	66,9	0,134	0,396	0,276	0,1611	Muy Mala	100	Inviabile Sanitariamente
	5	9,842	132	3,86	-	0,098	0,618	0,100	0,1634	Muy Mala	-	-
	6	22,353	22,333	6,51	4,767	0,224	0,965	0,776	0,3929	Moderada	90,909	Inviabile Sanitariamente
	7	18,392	200,909	6,101	59,225	0,184	0,330	0,627	0,2283	Muy Mala	100	Inviabile Sanitariamente
	8	29,587	431,333	3,939	66,175	0,296	-0,865	0,100	-0,0938	-	100	Inviabile Sanitariamente
	9	9,2	132	4	-	0,092	0,618	0,210	0,1842	Muy Mala	-	-
	10	27,3	92,5	5,6	9,4	0,273	0,763	0,484	0,3039	Muy Mala	100	Inviabile Sanitariamente
	11	13,673	300,5	4,7	18,4	0,137	-0,149	0,303	0,0581	Muy Mala	100	Inviabile Sanitariamente
	12	5,246	242,976	6,061	80,167	0,052	0,136	0,615	0,1606	Muy Mala	100	Inviabile Sanitariamente
	13	35,923	120,5	6,807	113	0,359	0,662	0,906	0,3855	Moderada	90,909	Inviabile Sanitariamente
	14	9,6	132	3,95	-	0,096	0,618	0,100	0,1629	Muy Mala	-	-

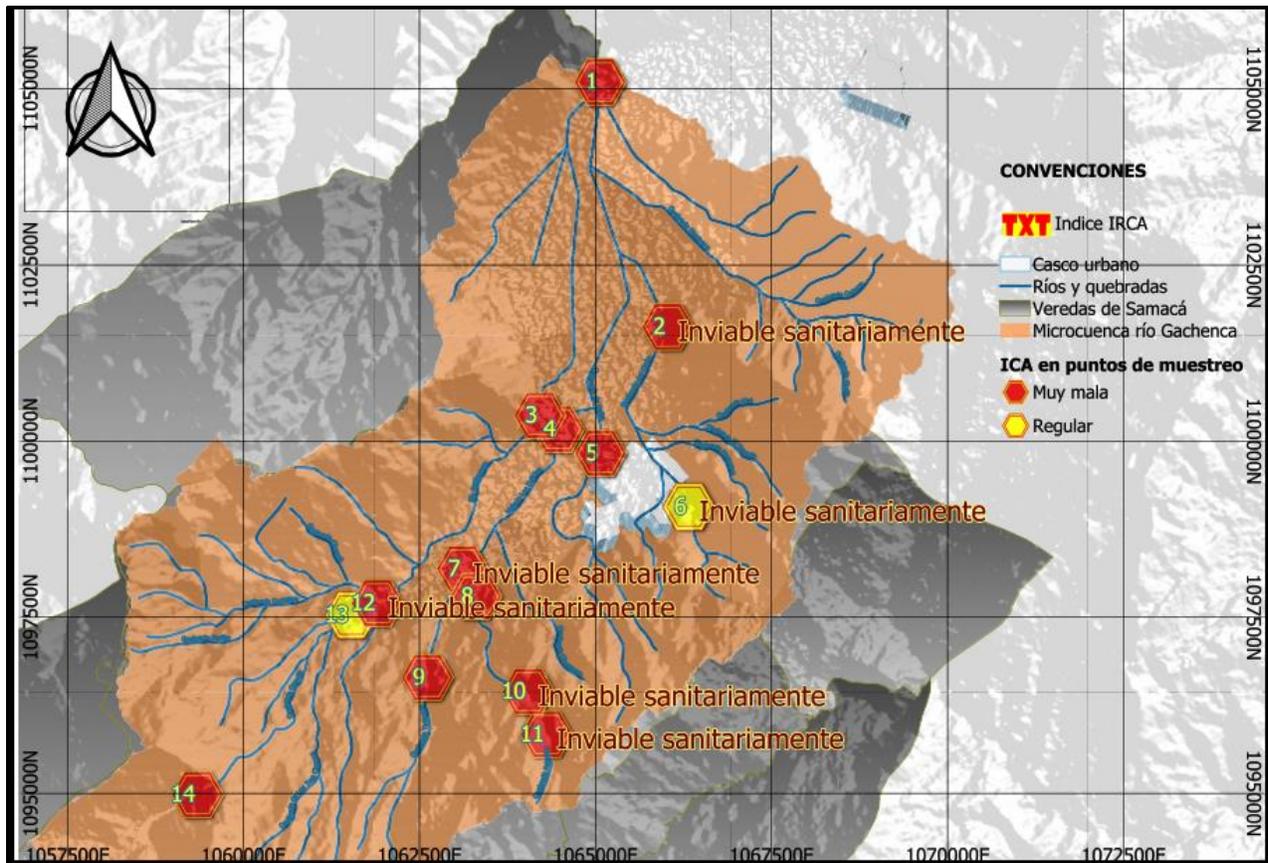


Figura 18. Calidad del agua mediante índices ICA e IRCA para 14 puntos de monitoreo.

Para el período comprendido entre los meses de Junio a Septiembre de 2020, se puede evidenciar el deterioro de la calidad del agua en los puntos 1, 4 – 9,12 y 13. Lo anterior, debido a la disminución del pH y aumento de la turbiedad en los diferentes puntos.

Para acompañar los datos tomados in situ, se llevaron a cabo 4 tomas de datos por medio de laboratorios certificados por el IDEAM, dos en época de verano (Febrero 2020 y Septiembre 2020) y dos en época de invierno (Diciembre 2019 y Octubre 2020). Se monitorearon 6 puntos los cuales se escogieron teniendo en cuenta la evaluación del ICA e IRCA, según los datos tomados in situ, Tabla 29. A continuación, se puede evidenciar el resumen de los resultados de las mediciones por los laboratorios acreditados por el IDEAM en época de verano Tabla 30.



**Tabla 30.** *Parámetros de calidad del agua monitoreados para el período de verano.*

DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO						VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
		"Intersección Via Principal"	"Intersección Salida Samaca (Puente)"	"Empresa GFC"	"La Carpintería"	"Salida Empresa Acerías"	"Río Gachaneca"	
<b>ANÁLISIS DE CAMPO</b>								
Conductividad (A)	microsiemens/cm	619	36	302	22	466	7	1000
Olor	Cualitativo	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
pH (A)	Unidades de pH	7,01	6,02	6,72	5,15	6,25	4,6	6,5 - 9
Temperatura	°C	19	15,18	17,25	16	15,9	15,87	-
Oxígeno Disuelto	%	51,5	67,2	32,4	59,7	58,5	68,3	-
Turbiedad	UNT	115	127	106	85,2	18,6	2,8	2
Sólido Disuelto	µS/cm	282	72	121	7	226	1	-
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>								
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	91,96	3,74	43,34	<2,94	6,38	<2,94	200
DQO Total (A)	mg O <sub>2</sub> /L	33	<14,98	27	<14,98	<14,98	<14,98	-
DBO <sub>5</sub> Total (A)	mg O <sub>2</sub> /L	4	<2	<2	<2	<2	<2	-
Dureza Total (A)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	185	13	103	8,0	155,0	3,0	300
Fosfatos (A)	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	0,17	0,07	<0,35	0,08	0,06	0,05	0,5
Sólidos suspendidos totales (A)	mg SST/L	26	<11,51	16	14	17	<11,51	-
Nitratos - N (A)	mg NO <sub>3</sub> -N/L	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	0,47	<0,35	10
Sulfatos (A)	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	151	8,2	88,83	7,99	176	<4,0	250
Coliformes totales	UFC/100 cm <sup>3</sup>	2223	1320	2100	1182	1110	930	15
E. Coli	UFC/100 cm <sup>3</sup>	560	880	520	120	300	100	25
Cadmio total (A)	mg Cd/L	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,003
Fluoruros	mg F/L	0,36	<0,05	0,21	<0,05	0,19	<0,05	1
Plomo (A)	mg Pb/L	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,0035	0,01
Mercurio (A)	mg Hg/L	<0,0004	0,0004	<0,0004	0,0004	<0,0004	<0,0004	0,001
Arsénico (A)	mg As/L	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	<0,0030	0,01

A través de los diferentes puntos de muestreo, se pueden observar los cambios y fluctuaciones de los parámetros, para la época de verano.

Para la variable bacteriológica de los coliformes totales se registran valores entre 930 a 2223 UFC/100 cm<sup>3</sup> (Figura 19-I), en cuanto a la Escherichia Coli en el punto Río Gachaneca que es la parte más alta de la microcuenca registra 100 UFC/100 cm<sup>3</sup> y en la parte más baja de la cuenca y es el punto que recoge todas las aguas de los diferentes vertimientos que es el punto de intersección vía principal, se registra un valor de 560 UFC/100 cm<sup>3</sup> (Figura 19-J). El pH se registra un rango entre 4.6 a 7.01 (Figura 19-D). Los valores del fosfato se mantuvieron casi constante excepto en el punto de la empresa German Franco que presenta un valor de 0.35 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/L. en



cuanto a los parámetros de conductividad eléctrica, dureza, fluoruros y sulfatos los valores arrojados fueron fluctuantes a través de todos los puntos de monitoreo.

Para los parámetros de mercurio, arsénico, cadmio total, nitratos, DBO5 y plomo presentaron valores con una tendencia constante a diferencia del punto intersección vía principal y Río Gachaneca que reflejan cambios significativos en cuanto a en el DBO5 y Plomo, respectivamente

Se observo un aumento de los sólidos suspendidos totales en el punto intercepción vía principal indicando un aumento de sales minerales, material particulado entre otros componentes (Figura 19-B), así mismo se observó que los puntos favorables se presentaron para la época de verano en los puntos Río Gachaneca y La Carpintería, en cuanto a la época de invierno solo presento valores favorable el punto Río Gachaneca, lo cual indica que para estos puntos la calidad del agua es buena según lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2015) en la Resolución 631, la cual señala que los SDT para este tipo de sistema hídrico no deben ser superiores a 70 mg/L. Con respecto a la temperatura presento resultados que oscilan entre 13.78 a 17.83 °C, encontrándose en un rango normal de temperatura para esta zona de tierra alta (Figura 19-F).

Ahora bien, el resumen de los resultados de las mediciones por los laboratorios acreditados por el IDEAM en época de invierno se evidencia en la Tabla 31.



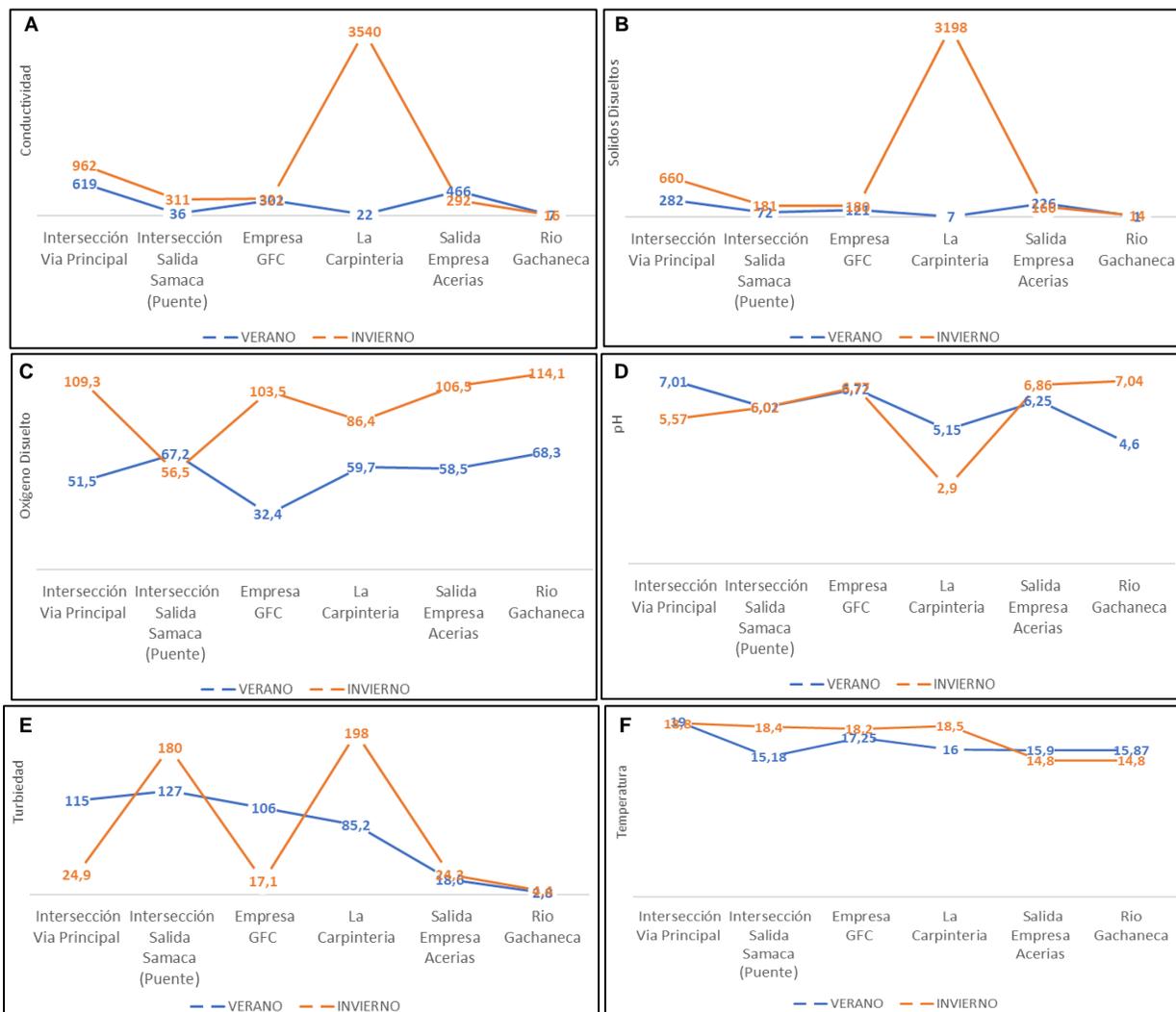
**Tabla 31. Parámetros de calidad del agua monitoreados para el período de invierno.**

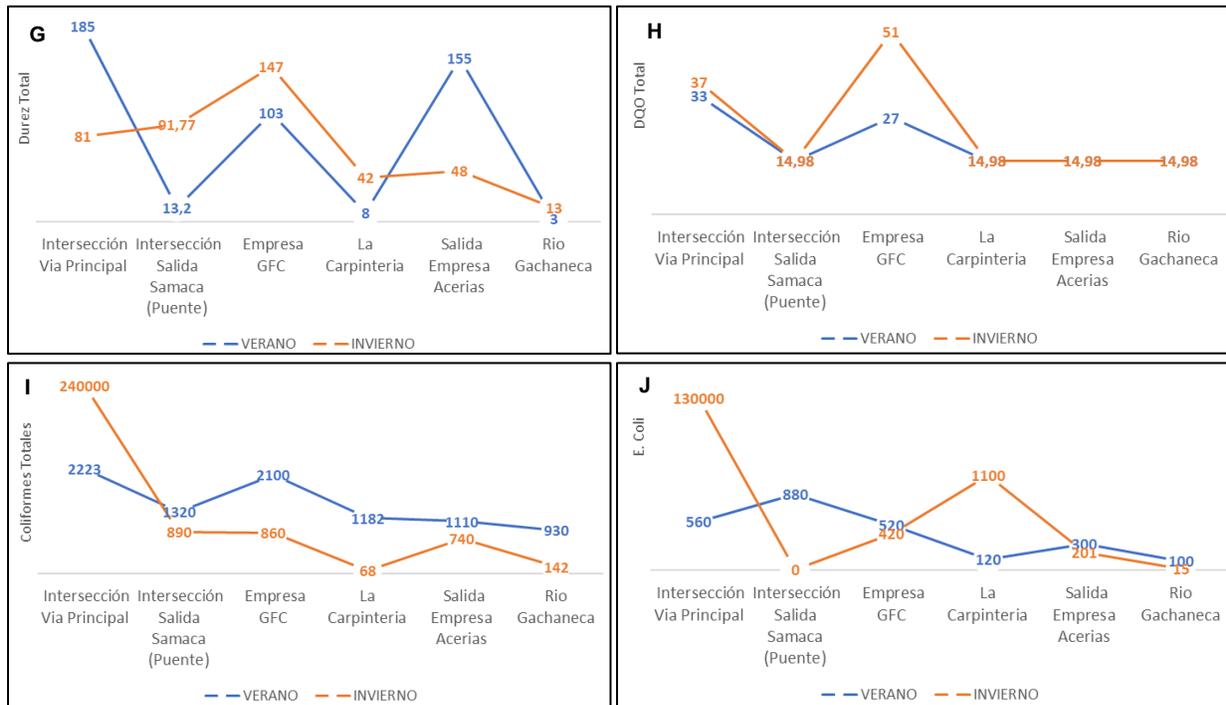
DESCRIPCIÓN	EXPRESIÓN	VALOR OBTENIDO						VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
		"Intersección Via Principal"	"Intersección Salida Samaca (Puente)"	"Empresa GFC"	"La Carpintería"	"Salida Empresa Acerías"	"Río Gachaneca"	
<b>ANÁLISIS DE CAMPO</b>								
Conductividad (A)	microsiemens/cm	962	311	321	3540	292	16	1000
pH (A)	Unidades de pH	5,57	6,01	6,77	2,9	6,86	7,04	6,5 - 9
Temperatura	°C	18,8	18,4	18,2	18,5	14,8	14,8	-
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /l	5	5,53	6,11	6,17	5,36	5,81	-
Oxígeno Disuelto	%	109,3	56,5	103,5	86,4	106,5	114,1	-
Turbiedad	UNT	24,9	180	17,1	198	24,3	4,4	2
Sólido Disuelto	mg SDT/L	660	181	180	3198	166	14	-
<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>								
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	33	70,84	20	20	20	20	200
DQO Total (A)	mg O <sub>2</sub> /L	37	<14,98	51	<14,98	<14,98	<14,98	-
DBO <sub>5</sub> Total (A)	mg O <sub>2</sub> /L	11	<2	<2	<2	<2	<2	-
Dureza Total (A)	mg CaCO <sub>3</sub> /L	81	92	147	42	48	13	300
Fosfatos (A)	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L	0,11	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,5
Sólidos suspendidos totales (A)	mg SST/L	90	<11,51	<11,51	46	<11,51	<11,51	-
Nitratos - N (A)	mg NO <sub>3</sub> -N/L	2,9	<0,35	-	-	-	-	10
Sulfatos (A)	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	63,5	-	124	45,4	45,5	21,6	250
Coliformes totales	UFC/100 cm <sup>3</sup>	240000	890	860	68	740	142	15
E. Coli	UFC/100 cm <sup>3</sup>	130000	-	420	1100	201	15	25
Cadmio total (A)	mg Cd/L	0,002	<0,0030	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
Fluoruros	mg F/L	0,2	0,61	0,2	0,2	0,2	0,2	1
Plomo (A)	mg Pb/L	0,01	<0,0030	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mercurio (A)	mg Hg/L	0,001	<0,0004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Arsénico (A)	mg As/L	0,001	0,0031	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01

De acuerdo con la tabla 31, para la variable bacteriológica de los coliformes totales se registran valores entre 68 a 240000 UFC/100 cm<sup>3</sup>, siendo el valor más alto en el punto intersección vía principal (Figura 19-I), en cuanto a la Escherichia Coli se registró el valor más alto en el punto intersección vía principal 130000 UFC/100 cm<sup>3</sup> y en la parte más alta de la cuenca que es el punto Río Gachaneca registro un valor de 15 UFC/100 cm<sup>3</sup> (Figura 19-J). El pH se registra un rango entre 2.9 a 7.04, para casi todas las estaciones, arrojando el registro más ácido en el punto La Carpintería (Figura 19-D), estos valores son relativamente buenos; Según Roldan Pérez (2003) y



Valencia (2011), estos valores se encuentran dentro del rango normal para aguas naturales. Los valores del fosfato se mantuvieron casi constante excepto en el punto intersección vía principal que presento un aumento con un valor de  $0.11 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$ . En cuanto a los parámetros de DQO, dureza, solidos disueltos totales, coliformes totales y porcentaje de oxígeno los valores arrojados fueron fluctuantes a través de todos los puntos de monitoreo. Para los parámetros de fluoruro, arsénico, cadmio total, nitratos, DBO5, temperatura y mercurio presentaron valores con una tendencia constante.





**Figura 19.** Cambios en las variables fisicoquímicas del agua en los diferentes puntos de muestreo de la microcuenca del Río Gachaneca en la época de verano e invierno.

En cuanto a la conductividad (Figura 19 – A), se puede observar que solo los datos favorables se presentaron para la época de verano en los puntos intercepción puente, La Carpintería y río Gachaneca y para la época de invierno solo en el punto Río Gachaneca, los cuales se encuentra dentro del rango establecido para ríos de montañas (30 y 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Roldan-Pérez, 2003; Valencia 2011).

La Saturación de oxígeno disuelto (OD) registro datos para la época de verano inferior al 68.3% y para la época de invierno registro datos inferior a 86.4% y superior a 103.5% (Figura 19-C). Según Roldan-Pérez (2003), el valor ideal de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es de 100%, valores por encima o por debajo de este porcentaje indican que algo está perturbando el ecosistema. Por tanto, se puede indicar que el factor principal que redujo el porcentaje de OD en la época de verano son las actividades generadas por el aumento de la descarga orgánica que consume el oxígeno disuelto para su descomposición (Montoya-Grisales, 2016).



Los resultados de los atributos fisicoquímicos evidencian diferentes grados de variación entre las variables, aunque cabe resaltar la tendencia del mejoramiento de las condiciones de calidad del agua en la época de verano en el caso de la Conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto, Sólidos disueltos, DQO total y Temperatura. En el análisis entre períodos hidrológicos se puede observar que en el período de invierno en el punto de monitoreo La Carpintería se aprecia un aumento considerable en la conductividad, turbiedad y sólidos disueltos, así como una disminución en el pH con respecto a los demás puntos monitoreados. De igual forma se evidencia en la temporada de invierno un aumento considerable tanto en los Coliformes Totales y E. Coli en la estación de monitoreo de Intersección vía principal. En cuanto a los coliformes totales en la temporada de verano registraron datos más elevados con respecto a la temporada de invierno en casi todos los puntos monitoreados, exceptuando en el punto intersección vía principal.

### 7.2.2 Índice de Calidad del Agua – ICA e IRCA.

Después de aplicar el método propuesto para determinar la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo sobre la cuenca. En las figuras 20 y 21, se muestran esquemáticamente dicho valor de acuerdo con la clasificación de las tablas 32 y 33 para la temporada de verano y tablas 34 y 35 para temporada de invierno.

**Tabla 32.** Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice ICA para la época de verano.

		PARAMETRO					INDICE ICA					CALIDAD	
		OD	SST	DQO	CE	Ph	i OD	i SST	i DQO	i CE	i PH		ICA
P u n t o s	6	51,5	26	33	619	7,01	0,515	0,942	0,51	-2,0260	1,0000	0,18820	Mala
	5	67,2	11,51	14,98	36	6,02	0,672	0,98547	0,91	0,9331	0,6016	0,82042	Buena
	4	32,4	16	27	302	6,72	0,324	0,972	0,51	-0,1567	0,8657	0,50301	Moderada
	3	59,7	14	14,98	22	5,15	0,597	0,978	0,91	0,9654	0,3826	0,76661	Buena
	2	58,5	17	14,98	466	6,25	0,585	0,969	0,91	-1,0684	0,6780	0,41471	Moderada
	1	68,3	11,51	14,98	7	4,6	0,683	0,98547	0,91	0,9925	0,2875	0,77169	Buena



**Tabla 33.** *Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice IRCA para la época de verano.*

		Parametros								INDICE IRCA		
		Ph	E.Coli	Alcalinidad	Dureza Total	Fosfatos	Nitratos	Sulfatos	Coliformes totales	Fluoruros	IRCA	Nivel de Riesgo
<b>P u n t o s</b>	<b>6</b>	7,01	560	91,96	185	0,17	<0,35	151	2223	0,36	84,211	Inviabile Sanitariamente
	<b>5</b>	6,02	880	3,74	13	0,07	<0,35	8,2	1320	<0,05	87,368	Inviabile Sanitariamente
	<b>4</b>	6,72	520	43,34	103	<0,35	<0,35	88,83	2100	0,21	84,211	Inviabile Sanitariamente
	<b>3</b>	5,15	120	<2,94	8,0	0,08	<0,35	7,99	1182	<0,05	87,368	Inviabile Sanitariamente
	<b>2</b>	6,25	300	6,38	155,0	0,06	0,47	176	1110	0,19	84,211	Inviabile Sanitariamente
	<b>1</b>	4,6	100	<2,94	3,0	0,05	<0,35	<4,0	930	<0,05	87,368	Inviabile Sanitariamente

Se puede resaltar que las condiciones más favorables de calidad del agua (Calidad Buena) en la época de verano se encuentran tanto en la parte alta de la cuenca (Punto de monitoreo Río Gachaneca), en la parte intermedia de la cuenca (Punto de monitoreo La Carpintería) y en la parte baja de la cuenca (Punto de monitoreo intersección salida puente de Samacá). Es importante resaltar que para todos los puntos de monitoreo de la época de verano el índice IRCA tuvo un nivel de riesgo inviable sanitariamente, lo que indica un agua no apta para consumo humano, según la Resolución 2115 de 2007.

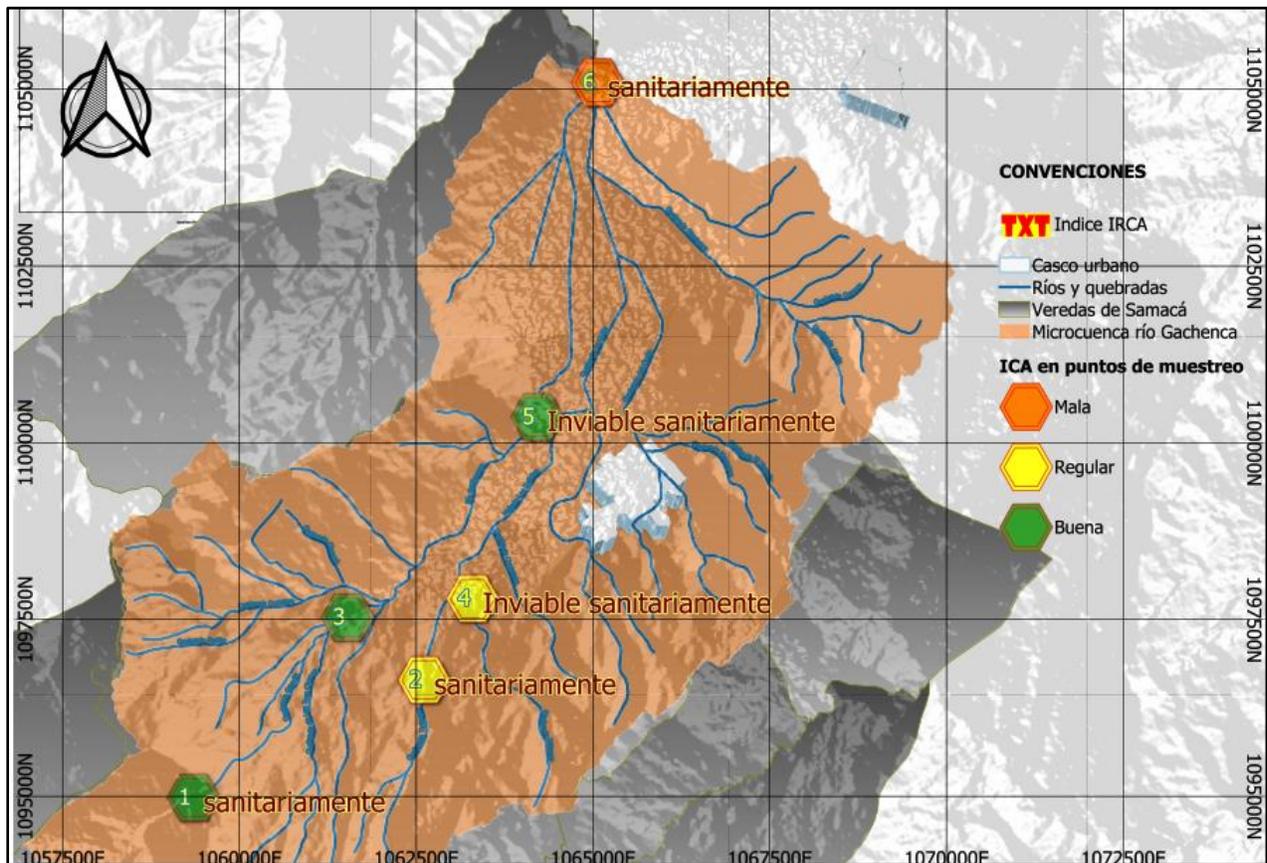


Figura 20. Calidad del agua mediante índices ICA e IRCA para 6 puntos de monitoreo en época de verano.

A pesar de que los datos de la conductividad eléctrica no sobrepasan el valor máximo permisible, en los puntos de muestreo 2 (Salida empresa Acerías), 4 (E. GFC) y 6 (Intersección vía principal), para este caso de estudio la conductividad fue un parámetro que influyo en la calidad del agua, según el índice ICA, ya que cuando es bajo el i CE (Índice de Conductividad eléctrica) hace que baje la calidad del agua. En la figura 20, se puede evidenciar el nivel de riesgo del índice IRCA, el cual fue influenciado por parámetros como Coliformes totales y E. Coli, en donde presentaron valores muy por encima al valor máximo permisible por muestra.



En las tablas 34 y 35, se presentan los índices ICA e IRCA para la temporada de invierno, en donde en este se evidencian cambios con respecto a la época de verano, en los valores de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, E. Coli, alcalinidad y coliformes fecales.

**Tabla 34.** *Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice ICA para la época de invierno.*

		PARAMETRO					INDICE ICA					CALIDAD	
		OD	SST	DQO	CE	Ph	i OD	i SST	i DQO	i CE	i PH		ICA
<b>P u n t o s</b>	<b>6</b>	109,3	90	37	962	5,57	1,093	0,75	0,51	-4,463	0,476	-0,327	Muy Mala
	<b>5</b>	56,5	11,51	14,98	311	6,01	0,565	0,985	0,91	-0,203	0,598	0,571	Moderado
	<b>4</b>	103,5	11,51	51	321	6,77	1,035	0,985	0,26	-0,255	0,889	0,583	Moderado
	<b>3</b>	86,4	46	14,98	3540	2,9	0,864	0,882	0,91	-30,309	0,100	-5,511	Muy Mala
	<b>2</b>	106,5	11,51	14,98	292	6,86	1,065	0,985	0,91	-0,106	0,931	0,757	Buena
	<b>1</b>	114,1	11,51	14,98	16	7,04	1,141	0,985	0,91	0,977	1,022	1,007	Buena

**Tabla 35.** *Parámetros de calidad del agua y cálculo del índice IRCA para la época de invierno.*

		PARAMETRO							INDICE IRCA		Nivel de Riesgo	
		E.Coli	pH	Alcalinidad	Dureza Total	Fosfatos	Nitratos	Nitritos	Coliformes totales	Fluoruros		IRCA
<b>P u n t o s</b>	<b>6</b>	130000	7,01	33	81	0,11	2,9	0,16	1030	0,2	86,869	Inviabile Sanitariamente
	<b>5</b>	0	6,2	70,84	92	0,08	<0,35	0,027	890	0,61	61,224	Alto
	<b>4</b>	420	6,72	20	147	0,06	-	<0,018	860	0,2	80,808	Inviabile Sanitariamente
	<b>3</b>	1100	5,15	20	42	0,06	-	<0,018	68	0,2	67,347	Alto
	<b>2</b>	201	6,25	20	48	0,06	-	<0,018	740	0,2	67,347	Alto
	<b>1</b>	15	4,6	20	13	0,06	-	<0,018	142	0,2	67,347	Alto

Para este período se logra evidenciar un cambio en el nivel de riesgo del índice IRCA para los puntos de Río Gachaneca, Salida empresa Acerías, La Carpintería y la Intersección puente de Samacá, en donde paso de un riesgo de inviable sanitariamente a un riesgo alto, esto debido al incumplimiento de los límites permitidos en la Resolución 2115 de 2007 para uno o más características como es el caso de E. Coli y Coliformes totales, esto implica un aumento en el nivel de riesgo de la calidad del agua para consumo humano proporcional al puntaje de riesgo asignado a las características en las cuales se presenta el incumplimiento. En cuanto al índice ICA para este período hubo una mejoría en la calidad por parte del oxígeno disuelto, así mismo se presentó



valores elevadas de conductividad eléctrica en el punto Empresa German Franco, La Carpintería e intersección de vía principal.

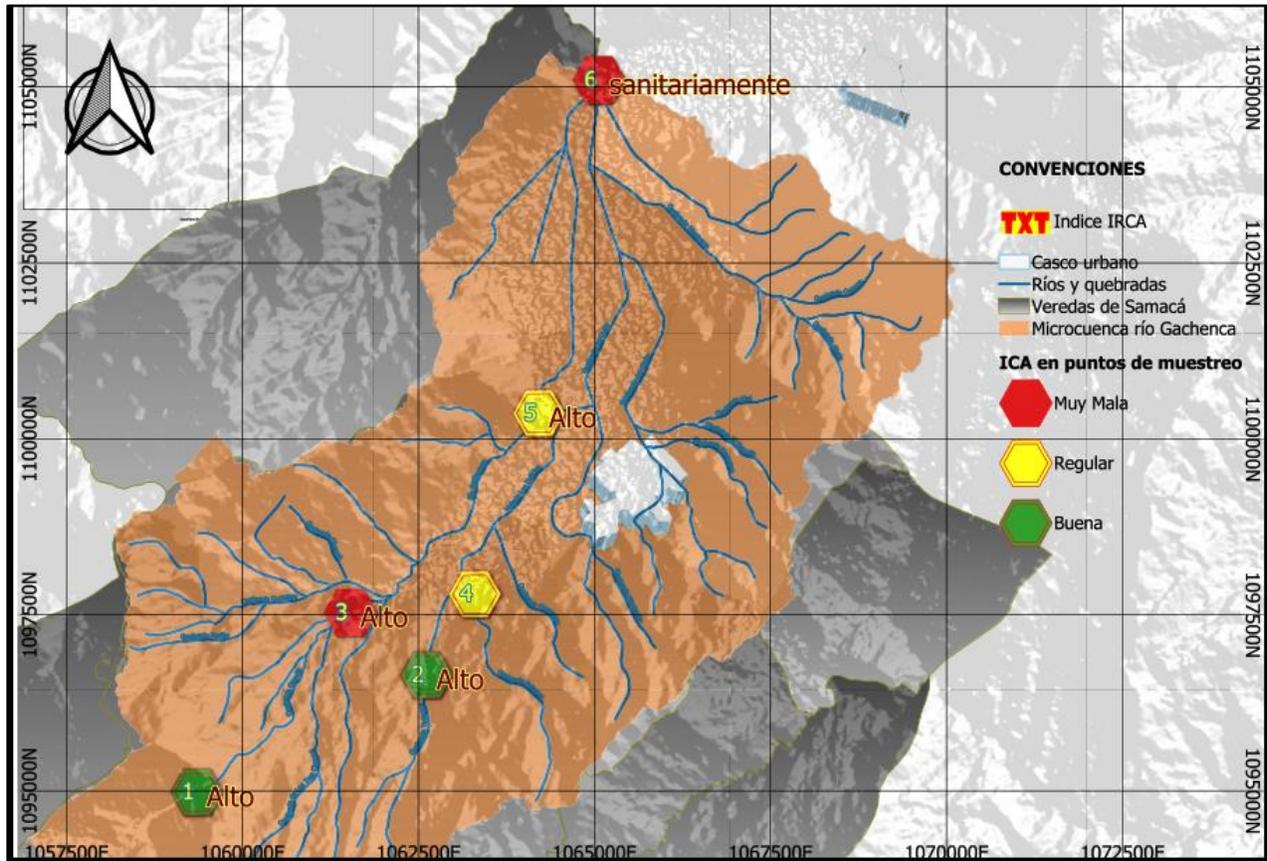


Figura 21. Calidad del agua mediante índices ICA e IRCA para 6 puntos de monitoreo en época de invierno.

En cuanto a los mapas de riesgo de la calidad del agua en las figuras 20 y 21, muestra de una forma esquemática el estado de la microcuenca del Río Gachaneca, la cual abastece a los sistemas de suministro de agua para consumo humano y riesgo de cultivo; considerando las características físicas, químicas y microbiológicas del afluente, independientemente de si provienen de una contaminación por eventos naturales o antrópicos.

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes en la calidad del agua, normalmente los valores varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L, pero para el caso de la temporada de invierno los valores monitoreados variaron en un rango de 5.0 a 6.17 mg/L, lo que indica que en



los afluentes puede estar recibiendo una fuga de fertilización desde los campos de cultivo o los afluentes está recibiendo altas descargas de materia orgánica, lo que conlleva un incremento de la demanda de oxígeno para su degradación. El OD es necesario para el mantenimiento de plantas, animales y las demandas bioquímicas.

En cuanto a los parámetros microbiológicos como son Coliformes Totales y E. Coli, que para ambas temporadas hidroclimáticas sus valores fueron elevados en los diferentes puntos de monitores, esto indica que la presencia de este tipo de bacterias es indicio de aguas contaminadas. De acuerdo con lo anterior es evidente que la carga contaminante de microorganismos es muy alta lo cual se puede deberse a las actividades agropecuarias del área y a las aguas residuales domésticas, esto constituye un riesgo en los diferentes afluentes de agua de la microcuenca ya que estos sirven como diseminador de estos patógenos intestinales, no solo en el caso de ser ingerida si no cuando se usa para riego.

### **7.2.3 Índice de Contaminación – ICO'S.**

Los ICO'S a diferencia de los índices ICA e IRCA, fueron diseñados para estimar problemas ambientales, estos índices permitieron caracterizar en forma general la calidad de las aguas de la microcuenca del Río Gachaneca, de tal forma que procesos físicos, químicos o biológicos que indiquen alta degradación de las aguas pueden ser enmascarados por otros que no sugieren contaminación alguna. La utilización del índice ICOMI (Índice de contaminación por mineralización) e ICOMO (Índice de contaminación por materia orgánica), para la calidad del agua es a razón de cuantificar el grado de contaminación a su condición general, en minerales y en materia orgánica y no a contaminantes específicos.



Tabla 36. Índices de contaminación ICO'S para la época de verano e invierno.

PUNTOS	ESTACION DE MONITOREO	EPOCA DE VERANO			EPOCA DE INVIERNO		
		ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOMI	ICOMO	ICOSUS
1	R. Gachaneca	0	0,28	0,01	0	-0,02	0,01
		Muy Baja	Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja
2	S.E Acerias	0,67	0,33	0,03	0,50	0,14	0,01
		Alta	Baja	Muy Baja	Media	Muy Baja	Muy Baja
3	La Carpinteria	0	0,33	0,02	0,5	0,01	0,12
		Muy Baja	Baja	Muy Baja	Media	Muy Baja	Muy Baja
4	E. GFC	0,5	0,47	0,03	0,67	0,16	0,01
		Media	Media	Muy Baja	Alta	Muy Baja	Muy Baja
5	Inter. Puente	0	0,32	0,01	0,67	0,32	0,01
		Muy Baja	Baja	Muy Baja	Alta	Baja	Muy Baja
6	Inter. Vias	0,83	0,48	0,06	0,5	0,33	0,25
		Muy Alta	Media	Muy Baja	Media	Baja	Baja

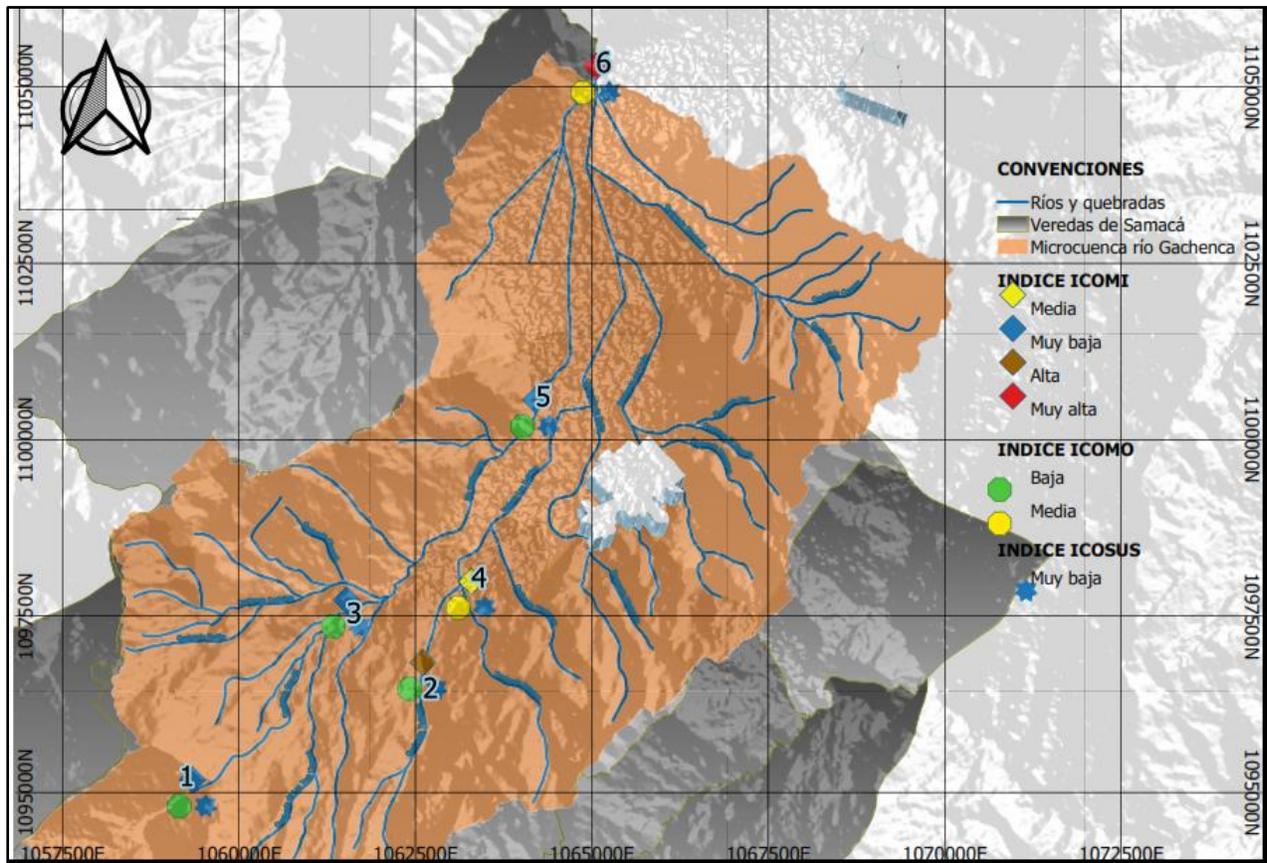


Figura 22. Índices de contaminación ICO'S para la época de verano.

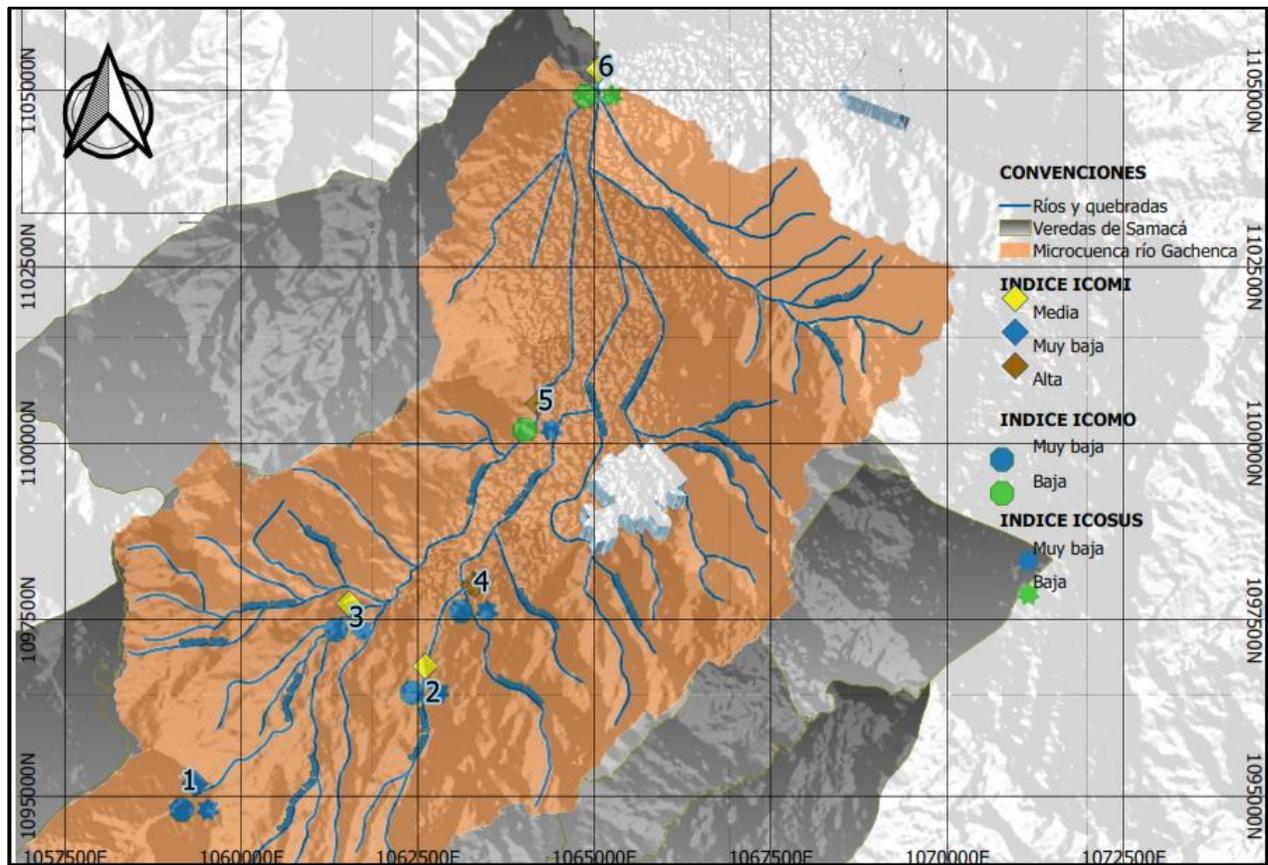


Figura 23. Índices de contaminación ICO'S para la época de invierno.

Teniendo en cuenta los datos calculados en la tabla 36, donde se hace referencia al mecanismo de contaminación que sufrió la microcuenca del Río Gachaneca para estos períodos hidroclimáticos, a partir de los cuales se puede observar que la contaminación por materia orgánica ICOMO es la más importante para la comparación con los otros indicadores biológicos; paralelamente es fundamental el análisis individual de parámetros como DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos y nitratos. Los niveles de mineralización ICOMI y de contaminación por materia orgánica ICOMO reflejaron las condiciones más críticas en la parte baja de la microcuenca como es la estación de intersección de vías principal entre el Municipio de Cucaita y Samacá; viéndose más afectado para la temporada de verano que para la temporada de invierno. Por otra parte, el ICOMI arrojó datos de contaminación altos en los puntos de monitoreo salida empresa Acerías en época de verano y



Empresa German Franco GFC e intersección de vía puente de Samacá en la época de invierno. Lo anterior era predecible debido a que estos resultados corresponden a los puntos de monitoreo donde el uso del suelo es minero. Los datos de ICOMI se vieron influenciados por los parámetros de Conductividad eléctrica, la dureza y la alcalinidad total, estos parámetros arrojaron datos elevados en el punto intersección vía principal en la época de verano. El índice ICOMO se vio influenciado en la época de verano en los puntos de GFC e Intersección vía principal por los altos valores de Coliformes totales; para la época de invierno el índice ICOMO presentó un cambio positivo en todos los puntos de monitoreo.

En cuanto al índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS presentó homogeneidad en todos los puntos de muestreo tanto en la época de verano como en la época de invierno. Pero se espera que en condiciones de lluvia el transporte de sedimentos aumente y que mayor cantidad de nutrientes provenientes de prácticas agrícolas sea transportada por escorrentía como cargas difusas.

#### **7.2.4 Composición Taxonómica de la Comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos.**

Para la determinación de la estructura, composición y abundancia de los macroinvertebrados se tuvo en cuenta el criterio de presencia – ausencia, como se puede corroborar en la Tabla 37 y 38, para cada muestra realizada en la época de verano e invierno. La muestra de especies de macroinvertebrados recolectadas para la temporada seca estuvo compuesta por 3 Phylum, 7 clases, 9 órdenes, 16 familias y 12 géneros y para la temporada de lluvia estuvo compuesta por 4 Phylum, 8 clases, 14 órdenes, 26 familias y 14 géneros, donde el Phylum más encontrado fue el Arthropoda, este es el más numeroso y diverso del reino animal, por ende es importante para el análisis de la calidad del agua de la zona, este Phylum en particular puede indicar como se encuentra el ecosistema de la microcuenca del Río Gachaneca. Así mismo, se evidencia que la



clase más predominante es la Insecta, este tipo de organismo es muy frecuente encontrarlo en los ecosistemas de quebradas debido a las características que posee.

El Mayor número de especie encontradas expresado en porcentaje para la época de verano fue la Hyallela (82%) en el punto de monitoreo de la empresa de German Franco GFC, Sub. Chironominae (6%) en el punto de monitoreo del Río Gachaneca y Naididae (3%) en el punto de monitoreo de intersección puente de Samacá. Al cambio las especies encontradas para la época de invierno fue Sub. Chironominae (63%) en el punto de monitoreo Intersección Puente de Samacá, Naididae (14%) en el punto de monitoreo Intersección vía principal y Glossiphoniidae (6%) en el punto de monitoreo Intersección vía principal.

En los sitios evaluados el orden que presento la mayor riqueza de morfoespecies fue la Diptera, esto se debe a su distribución cosmopolita; se logró encontrar desde zonas con calidad del agua buena hasta sitios donde se evidencia diferentes niveles de perturbación. Para la temporada de invierno la familia de los Chironominae, el primero fue uno de los taxones más abundantes; estos taxones expresan condiciones tolerantes a la anoxia, generalmente se distribuyen en zonas donde muestran altas cantidades de materia orgánica.



PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	EPOCA DE VERANO						TOTAL	%	
					P1	P2	P3	P4	P5	P6			
Arthropoda	Arachnida	Acari	Prostigmata Mf1		0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Hyalidae	Hyalala sp	0	0	0	1465,56	6,67	10,0	1482,23	81,4	
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Dytiscidae	Celina (Adulto)	5,56	0	0	0	0	1,11	6,67	0,4	
	Coleoptera		Elmidae	Heterelmis sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Hydrophilidae	Tropisternus sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Isotomidae		0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Isotomidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	0,0	
	Insecta	Diptera		Chironomidae Mf1		2,22	0	1,11	0	0	0	3,33	0,2
				Tipulidae	Molophilus sp	0	0	3,33	0	0	0	3,33	0,2
Tipulidae				Tipula sp	0	0	1,11	0	0	0	1,11	0,1	
Chironomidae				Sub. Tanypodinae	23,33	0	0	0	18,89	0	42,22	2,3	
Tabanidae Mf1				Tabanus	1,11	0	1,11	0	0	0	2,22	0,1	
Sub. Chironominae					88,89	10,0	1,11	0	1,11	7,78	108,89	6,0	
Psychodidae				Psychoda sp	0	0	0	0	0	0	1,11	0,1	
Ceratopogonidae				Atrichopogon sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
Chironomidae				Sub. Tanypodinae	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
Culicidae Mf1					0	0	0	0	0	0	0	0,0	
Hemiptera (Heteroptera)			Dolichopodidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0,0		
			Corixidae	Tenagobia sp	37,78	0	0	0	0	0	37,78	2,1	
			Gerridae	Eurygerris sp	0	1,11	0	0	0	0	1,11	0,1	
			Notonectidae	Notonecta sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Velidae	Microvelia sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Aeshnidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Polycentropodidae	Polycentropus sp	0	1,11	1,11	0	0	0	2,22	0,1	
			Leptoceridae	Amphoropsysche sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Leptoceridae	Leptocerus sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Hydroptilidae	Oxyethira sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
Annelida	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae Mf1		0	0	0	0	37,78	0	37,78	2,1	
			Glossiphoniidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	0,0	
			Tubificidae		4,44	1,11	0	0	44,44	3,33	53,32	2,9	
			Lumbriculidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	0,0	
Mollusca	Gastropoda	Bivalvia	Physidae	Physa sp	0	0	0	7,78	7,78	0	15,56	0,9	
			Sphaeriidae	Pisidium sp	0	0	0	22,22	0	0	22,22	1,2	
			Dugesitiidae	Dugesia sp	0	0	0	0	0	0	0	0,0	
Platyhelminthes	Turbellaria		ABUNDANCIA (N)		163,33	13,33	8,88	1495,56	116,67	23,33	1821,1	100,0	
			RIQUEZA (R)		7	4	6	3	6	5	16		

Tabla 37. Abundancia Absoluta (Ind/m<sup>2</sup>) de macroinvertebrados bentónicos en la época de verano.



PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	EPOCA DE INVIERNO										TOTAL	%
					P1	P2	P3	P4	P5	P6						
Arthropoda	Arachnida	Acari	Prostigmata Mf1		0	0	11,11	11,11	0	0	0	22,22	0,4			
			Hyalellidae	Hyalella sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0		
	Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae Mf1		0	0	0	0	0	0	11,11	11,11	0,2			
			Dytiscidae	Celina (Adulto)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0		
		Coleoptera	Elmidae	Heterelmis sp		33,33	0	0	0	0	0	0	33,33	0,6		
				Tropisternus sp		0	0	0	0	0	0	11,11	11,11	0,2		
			Collembola	Isotomidae		0	0	0	11,11	0	0	0	0	11,11	0,2	
				Isotomidae Mf1		0	0	0	0	133,33	0	0	11,11	144,44	2,6	
				Chironomidae Mf1		0	0	0	0	0	33,33	0	0	33,33	0,6	
				Tipulidae	Molophilus sp		0	11,11	0	0	0	0	0	11,11	0,2	
Insecta	Diptera	Tipulidae	Tipula sp		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0			
		Chironomidae	Sub. Tanypodinae		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0			
		Tabanidae Mf1	Tabanus		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0			
		Sub. Chironominae		400,00	0	0	0	55,56	2500,00	33,33	2988,89	54,5				
		Psychodidae	Psychoda sp		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0			
		Ceratopogonidae	Atrichopogon sp		22,22	0	0	0	0	0	0	22,22	0,4			
		Chironomidae	Sub Tanypodinae		11,11	0	0	0	0	0	0	11,11	0,2			
		Culicidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	11,11	11,11	0,2			
		Dolichopodiidae Mf1		0	0	0	0	11,11	0	0	0	11,11	0,2			
		Cortixidae	Tenagobia sp		0	0	0	22,22	0	0	0	22,22	0,4			
Hemiptera (Heteroptera)	Hemiptera (Heteroptera)	Gerridae	Eurygerris sp		0	0	0	0	0	0	0	0,0				
		Notonectidae	Notonecta sp		0	0	11,11	55,56	0	0	66,67	1,2				
		Velidae	Microvelia sp		0	0	0	11,11	0	0	11,11	0,2				
		Aeshnidae Mf1		11,11	0	0	0	0	0	11,11	22,22	0,4				
		Polycentropodidae	Polycentropus sp		0	0	0	0	0	0	0	0,0				
		Leptoceridae	Amphoropsysche sp		44,44	0	0	0	0	0	0	44,44	0,8			
		Leptoceridae	Leptocerus sp		0	0	11,11	0	0	0	0	11,11	0,2			
		Hydroptilidae	Oxyethira sp		0	0	0	122,22	0	0	0	122,22	2,2			
		Glossiphoniidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0			
		Glossiphoniidae Mf1		0	0	0	0	0	0	0	288,89	288,89	5,3			
Annelida	Oligochaeta	Tubificidae		77,78	0	0	155,56	22,22	655,56	911,12	16,6					
		Lumbriculidae Mf1		33,33	0	0	0	0	0	0	33,33	0,6				
	Gastropoda	Pulmonata	Physa sp		0	0	0	111,11	0	155,6	266,67	4,9				
		Veneroidea	Pisidium sp		0	0	0	44,44	22,22	0	66,66	1,2				
	Platyhelminthes	Turbellaria	Dugesidae	Dugesia sp		44,44	0	233,33	22,22	0	299,99	5,5				
			<b>ABUNDANCIA (N)</b>		677,76	11,11	44,44	966,66	2599,99	1188,89	<b>5488,85</b>	<b>100</b>				
		<b>RIQUEZA (R)</b>		9	1	4	12	5	9	26						

Tabla 38. Abundancia Absoluta (Ind/m2) de macroinvertebrados bentónicos en la época de invierno.

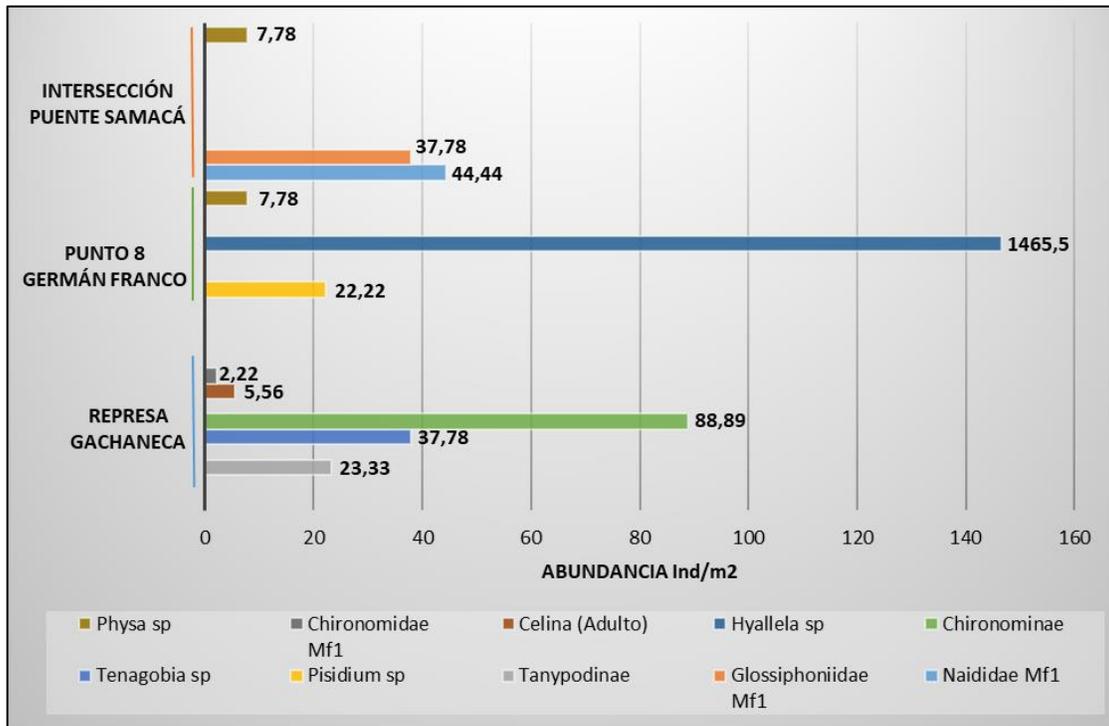


Figura 24. Distribución y abundancia relativa (Ind/m<sup>2</sup>) de los diez taxones de macroinvertebrados bentónicos más abundantes y sus sitios de monitoreo en la época de verano.

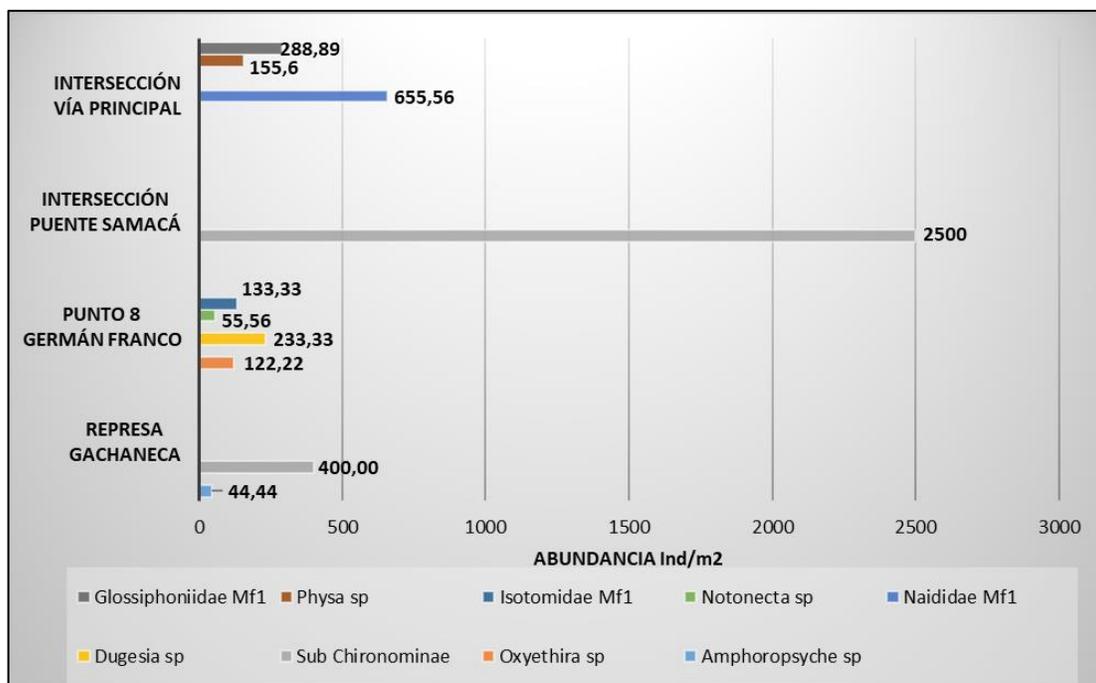
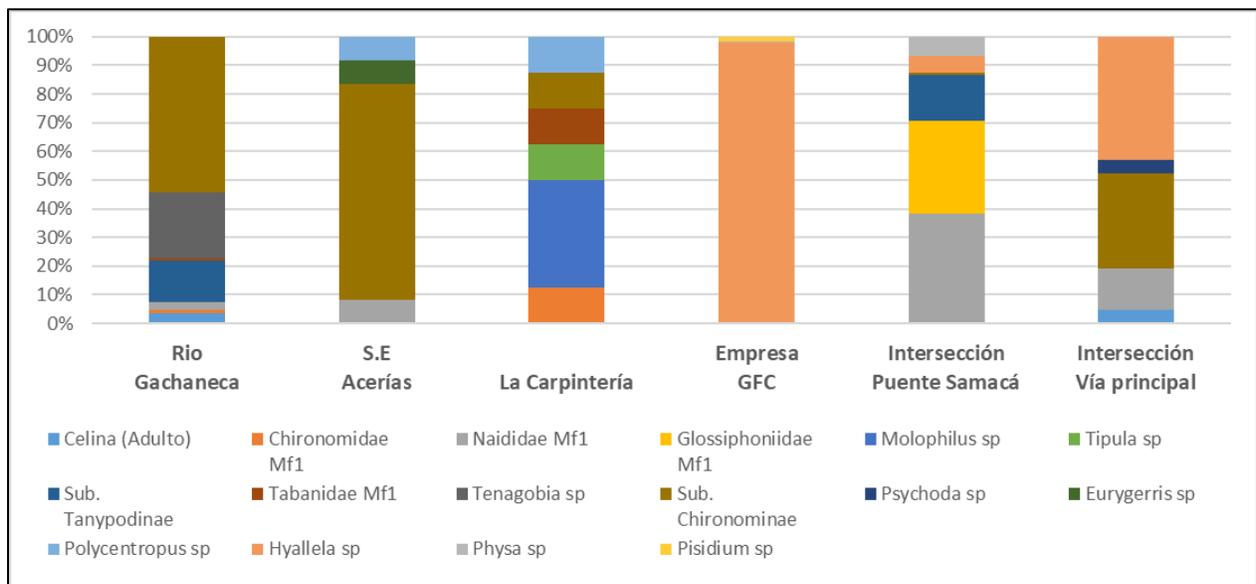


Figura 25. Distribución y abundancia relativa (Ind/m<sup>2</sup>) de los diez taxones de macroinvertebrados bentónicos más abundantes y sus sitios de monitoreo en la época de invierno.



Por otra parte, la diferencia de la abundancia de individuos, varió entre los dos muestreos, siendo para la época de verano la familia de la Hyallela con más abundancia con 1465.5 de individuos, seguidamente de los Sub. Chironomidae con 88.89 individuos y la familia con menos abundancia fue Chironomidae Mf1 con 2.22 individuos, Figura 24. Para la época de invierno la familia más abundante es la Sub. Chironomidae con 2500 individuos, seguidamente de la familia Naididae con 655.56 individuos y la familia con menos abundancia fue Amphoropsyche con 44.44 individuos, Figura 25.

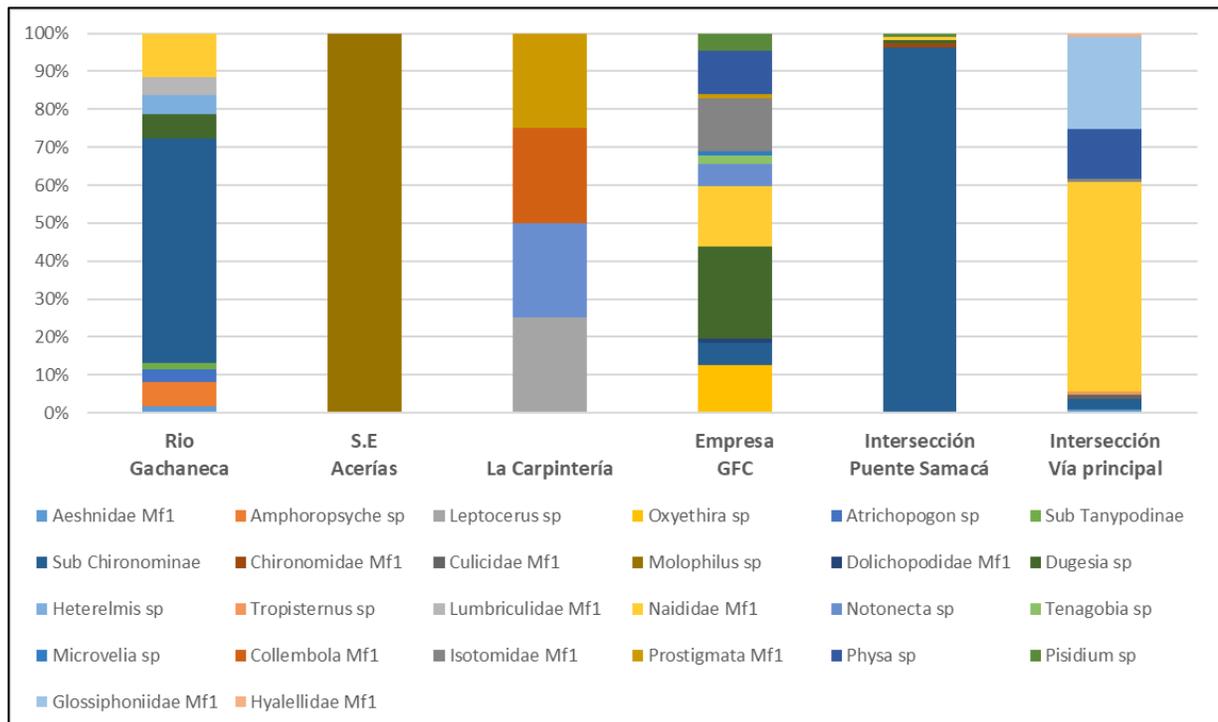
En la figura 26, se representa las abundancias a nivel de sitios en época de verano, en donde se encontraron 16 familias para los cuales en los sitios Río Gachaneca y La Carpintería se encontró la mayor diversidad de familias. Se puede observar la dominancia de la Hyallela y los Sub. Chironomidae en los diferentes sitios y sus fluctuaciones en cuanto a su abundancia.



**Figura 26.** Abundancia relativa de familias por sitios de monitoreo en época de verano.



En la figura 27, se representa las abundancias a nivel de sitios en época de invierno, en donde se encontraron 26 familias para los cuales en los sitios Río Gachaneca y Empresa German Franco – GFC se encontró la mayor diversidad de familias. Se puede observar la dominancia de los Sub. Chironomidae, Naididae y Physa en los diferentes sitios y sus fluctuaciones en cuanto a su abundancia.



**Figura 27.** Abundancia relativa de familias por sitios de monitoreo en época de invierno.

Como se logró evidenciar la familia de los Chironomidae estuvo presente con una abundancia considerable en ambas temporadas hidroclicmáticas; esta familia se conoce que habita generalmente en fango, arena y lugares con abundante materia orgánica en descomposición, aunque puede ser hallados en diferentes hábitats. Estos artrópodos, tienen estados de larva, pupa y adulto, siendo este último similar a un mosquito.

En relación con las familias consideradas únicas, para el caso del segundo muestreo (invierno), se hallaron 11 familias que no aparecieron en el primer muestreo (verano), estas familias fueron



Prostigmata, Elmidae, Hydrophilidae, Isotomidae, Ceratopogonidae, Culicidae, Dolichopodidae, Leptoceridae (Amphoropsycha y oxyethira) y DugesIIDae. En caso contrario se hallaron 8 familias que estuvieron en el primer muestreo, pero no en el segundo muestreo, estas familias fueron Tipulidae, Tabanidae, Psychodidae, Gerridae, Polycentropodidae y Glossiphoniidae.

Ahora, según los muestreos de las temporadas hidroclimáticas, se puede corroborar que las familias más abundantes que se presentaron en ambas temporadas fueron Chironomidae y Tubificidae, las cuales mantuvieron un buen número de individuos a través del tiempo, mayor a 400, por lo cual pueden ser familias guía, que personifican las características de la Microcuenca del Río Gachaneca, partiendo del hecho de que son familias que están hallando un hábitat propicio para su desarrollo; la familia de los Tubificidae son indicadoras de aguas con alta contaminación por materia orgánica, aguas polisaprobicas e hipoxia, Escobar (1989). Aun así, no se debe dejar a un lado especies que solo aparecieron una vez (temporada de verano), como la Hyallela, ya que pueden estar demostrando cambios en las condiciones de agua y por ende en la calidad.

Como se puede evidenciar en la Figura 28, se puede observar que para la temporada de verano Figura 28–A, se aprecia que la mayor abundancia de macroinvertebrados bentónicos se recolectaron en el punto de monitoreo de la Empresa German Franco – GFC y seguidamente de la estación de monitores Río Gachaneca. Para la época de invierno Figura 28–B, se aprecia que la mayor abundancia de macroinvertebrados bentónicos se recolectaron en primer lugar en el punto de monitoreo de la Intersección del Puente de Samacá, en segundo lugar, estación de monitores Intersección Vía Principal Cucaita – Samacá y por último en la Empresa German Franco – GFC.

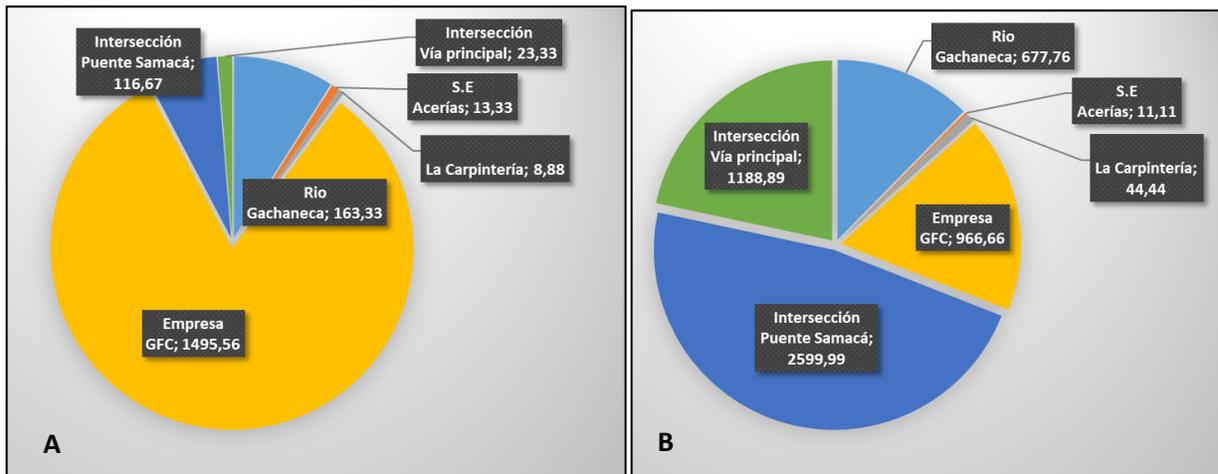


Figura 28. Abundancia total de macroinvertebrados bentónicos para la época de verano e invierno.

### 7.2.5 Análisis Ecológico de Especies.

**7.2.5.1 Índices de Biodiversidad.** En el presente proyecto se implementaron los índices de diversidad de Simpson, Shannon, Pielou y Margalef. De igual forma se determinó el índice de sensibilidad de Carrera y Fierro y los índices de similitud de Jaccard y Bray Curtis. Lo anterior aplicado a los datos recolectados en la temporada de verano e invierno. A continuación, se puede observar en la Tabla 39 y 40, los resultados de los índices de diversidad.



Tabla 39. Índices de diversidad para las estaciones de monitoreo en época de verano.

INDICES	ESTACIÓN DE MONITOREO - VERANO					
	R. Gachaneca	S.E Acerías	Carpintería	E. GFG	Inter. Puente	Inter. Via
Taxa_S	7	4	6	3	6	5
Individuals	160	13	8	1494	113	22
	0,3722	0,5836	0,2188	0,9605	0,284	0,3198
Dominance_D	Muy Contaminado	Muy Contaminado	Muy Contaminado	Muy Contaminado	Muy Contaminado	Muy Contaminado
	0,6278	0,4164	0,7813	0,03947	0,716	0,6802
Simpson_1-D	Baja Diversidad	Muy Baja Diversidad	Media Diversidad	Muy Baja Diversidad	Media Diversidad	Baja Diversidad
	1,253	0,8366	1,667	0,1098	1,416	1,297
Shannon_H	Baja Diversidad	Muy Baja Diversidad	Baja Diversidad	Muy Baja Diversidad	Baja Diversidad	Baja Diversidad
	1,182	1,17	2,404	0,2736	1,058	1,294
Margalef	Baja Diversidad	Baja Diversidad	Diversidad Media	Muy Baja Diversidad	Baja Diversidad	Baja Diversidad
	0,45	0,30	0,60	0,04	0,51	0,47
Pielou (E)	Mínima Equidad	Mínima Equidad	Mínima Equidad	Mínima Equidad	Mínima Equidad	Mínima Equidad

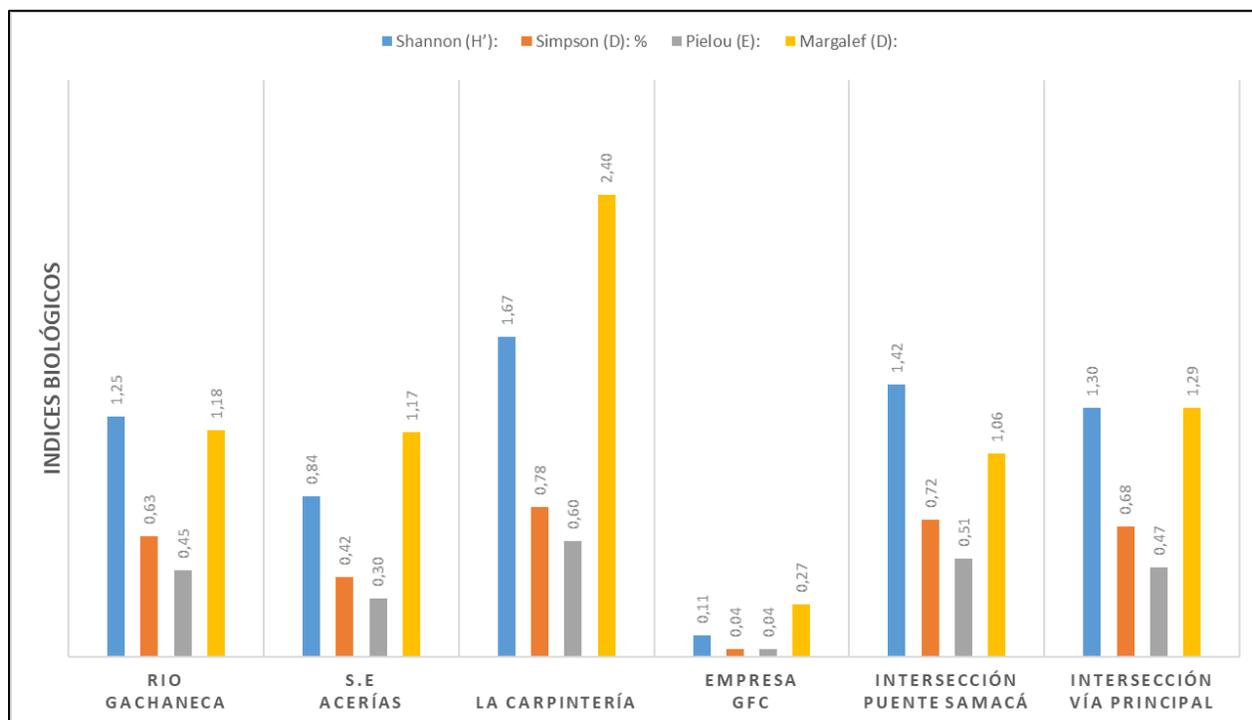


Figura 29. Índices de diversidad biológica aplicados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en época de verano.



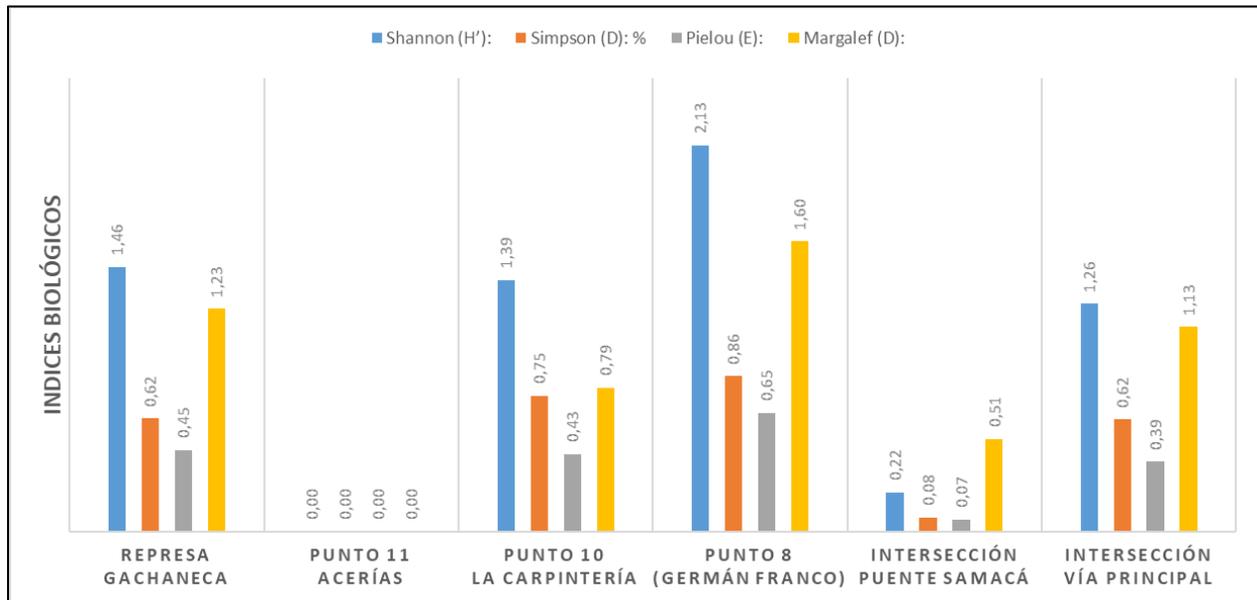
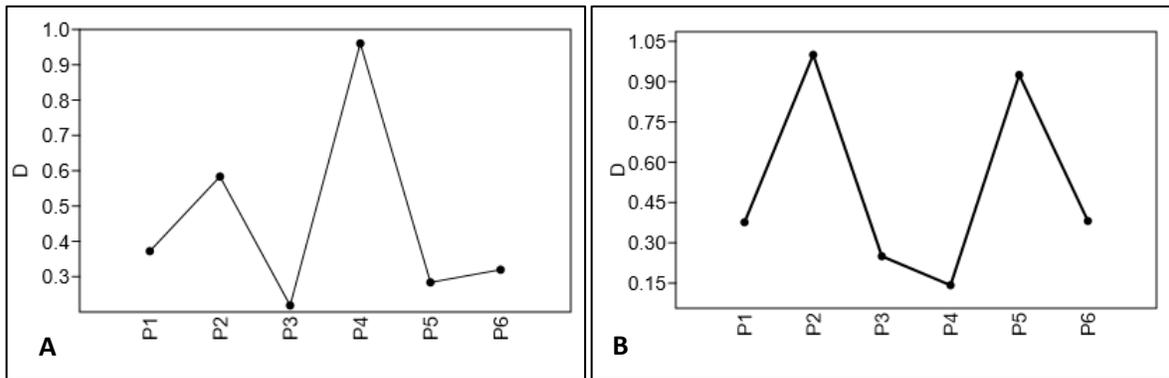


Figura 30. Índices de diversidad biológica aplicados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en época de invierno.

Según los índices biológicos aplicados a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos para la época de invierno Figura 30; el mayor valor de diversidad se expresó en el sitio Germán Franco por el índice de Shannon-Wiener con  $H' = 2,13$  y Margalef = 1.60; sin embargo, este valor es bajo respecto a los valores de referencia (0-5). En cuanto a la dominancia de Simpson se presentó el mismo registro con 0,86 (86%), lo cual expresa una dominancia del 15%, que estaría asociado a los taxones de *Dugesia* sp y *Naididae* Mf1. El índice de Pielou registró el máximo valor de equidad en el sitio Germán Franco ( $J = 0,65$ ) lo que indica que en este sitio el número de individuos de cada especie es más semejante entre ellos, es decir es uniforme. Se observó que la diversidad está influenciada por fuentes de contaminación puntuales, como actividades agrícolas e industriales que repercuten en una menor riqueza y diversidad de la comunidad.



**Figura 31.** Índices de dominancia para la época de verano e invierno.

La dominancia (D) se ve reflejada por la abundancia de especies en cierta zona determinada, siendo para el caso del monitoreo realizado en la época de verano en la estación P4 (E. GFC), como se puede observar en la Figura 31–A, esto se debe a que en esta zona se encontró en abundancia de individuos de la familia de la Hyallela, pero con respecto al monitoreo realizado en época de invierno la dominancia más alta se presentó en la estación P2 (Inter. Puente), como se puede evidenciar en la Figura 31–B, puesto que es este caso la familia dominante es la Sub. Chironominae, ya que se encontró con mayor número en relación a las otras familias. Por otra parte, en la época de verano la dominancia de especies es relativamente más bajo que en la época de lluvia ya que las condiciones del ambiente varían alterando el hábitat de las diferentes especies.

La dominancia (D) varía con respecto a cada época climática, donde en la época de lluvia se obtiene un mayor resultado, puesto que en este caso el grado del dominio está concentrado en más de una especie, debido a que las familias tolerantes a la contaminación se adoptan a las altas concentraciones que tiene el flujo de agua a lo largo de su cauce permaneciendo en el ecosistema.

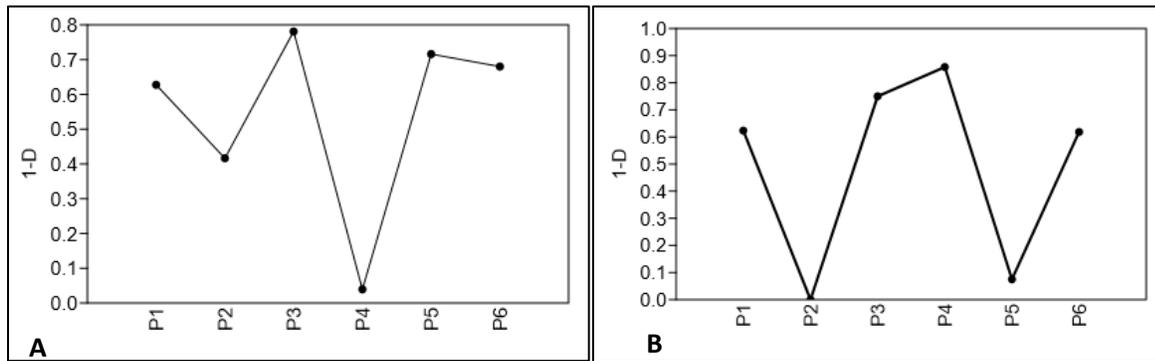


Figura 32. Índices de Simpson para la época de verano e invierno.

Los resultados obtenidos del índice de Simpson (1-D) pertenecientes al monitoreo realizado en la época de lluvia se representan en la Figura 32-B, donde la estación P4 (E. GFC) es la más diversa puesto que tiene un valor de 0,858 y fue la tercera estación donde se recolectaron mayor número de familias en el monitoreo de la época y la estación P2 (S.E Acerías) la zona menos diversa ya que obtuvo un valor de 0 además en esta estación se recolectaron solo una familias con 11.11 Ind/m<sup>2</sup> y de características tolerantes.

Los resultados obtenidos en la época seca se representan en la Figura 32-A, donde la zona más diversa para este monitoreo fue la estación P3 (La Carpintería) con un valor de 1.667 y la menos diversa fue la estación P4 (E. GFC) con un valor de 0,03947, en este caso podemos evidenciar que los datos obtenidos no representan gran diferencia, ya que en esta época los organismos recolectados disminuyeron su número y a la vez su diversidad.

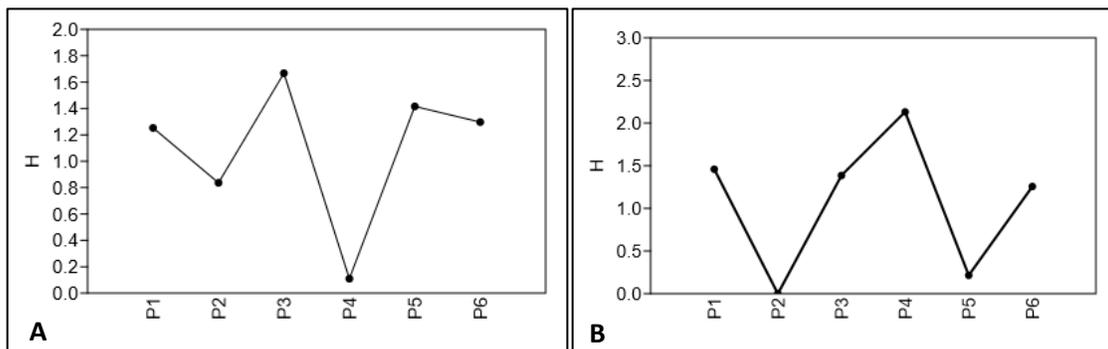


Figura 33. Índices de Shannon para la época de verano e invierno.



Los resultados obtenidos para el índice de Shannon (H) en relación a la época de lluvia se representan en la Figura 33-B, donde encontramos que en las estaciones P1 (R. Gachaneca), P3 (La Carpintería) y P6 (Inter. Vía) se obtuvieron valores de 1.46, 1.386 y 1.257, cuyos valores son cercanos a 1, lo que representa que hay una uniformidad de especies debido a que este índice asume que los individuos son recolectados al azar y que todas las familias encontradas están representadas en la muestra, las familias que se encontraron en estas tres estaciones fueron Sub. Chironominae, Naididae y Glossiphoniidae, familias que son características de tolerar altos grados de contaminación en corrientes de agua.

En el monitoreo realizado en la época seca se obtuvieron los resultados representados por la Figura 33–A, donde evidenciamos que hubo una uniformidad media de organismos con respecto a la época de lluvia, ya que en este monitoreo el número de familias recolectadas fue menor pero ya estas familias estaban representadas en la muestra, siendo la estación P3 (La Carpintería) la más uniforme con una valor de 1.667 y la estación P4 (E. GFC) la menos uniforme con un valor de 0.1098, adicionalmente en esta estación se recolectaron mayor número de individuos de la familia Hyallela, la cual solo se encontró en el monitoreo realizado durante esta época en la parte media de la microcuenca.

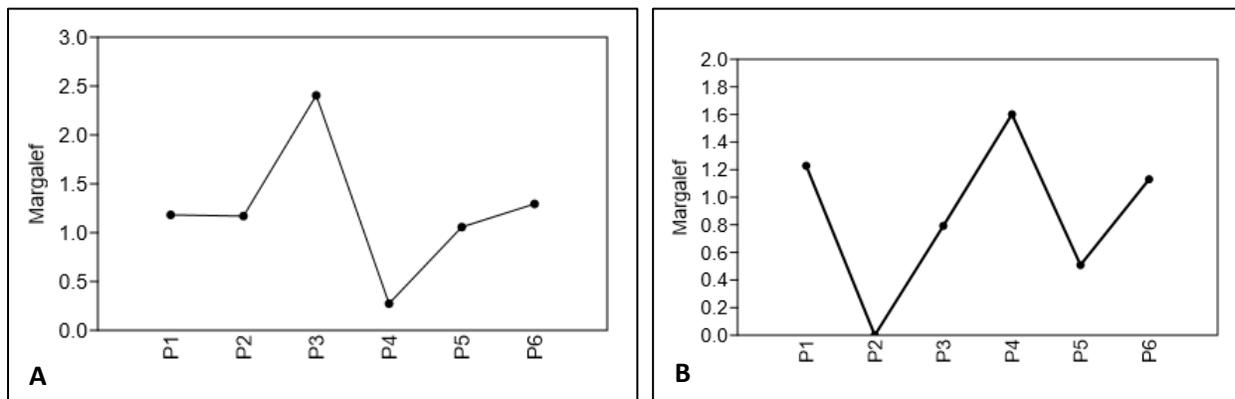


Figura 34. Índices de Margalef para la época de verano e invierno.



En la época de lluvia se puede observar en la Figura 34-B, que la estación que presenta mayor riqueza de especies es la P4 (E. GFC) con un valor obtenido de 1.601 además en esta estación se recolectaron un total de 5 familias, seguido de la estación P1 (R. Gachaneca), con un valor de 1.228 y 9 familias, por lo tanto la cuenca alta de la quebrada presenta buena estructura y composición de los organismos, lo que indica que en estos puntos no hay efectos de alteraciones graves por diferentes actividades antrópicas por parte de las comunidades aledañas, pero la estación P2 (Inter. Puente), es la que menos riqueza presenta por consecuencia a que en este punto solo se encontró 1 familia y sus individuos eran de características tolerantes y abundaban su número, lo que significa que hay un estresor en el cuerpo de agua que está alterando negativamente las condiciones del ecosistema.

Con respecto a los resultados obtenidos en la época seca que se presentan en la Figura 34-A, se evidencio un cambio drástico en los valores de la estación P3 (La Carpintería) y P4 (E. GFC ) ya que estos tienen valores de 2.404 y 0.2736 que establecen que la riqueza disminuyó a la mitad, lo que indica que en esta época climática los organismos se ven afectados por las condiciones que se generan en el ecosistema por falta de precipitación y no hay diversificación de organismos lo cual relaciona que la calidad del agua ya se encuentra en malas condiciones.

La riqueza de familias en estos dos monitoreos se presentó en mayor número en la cuenca alta del cuerpo de agua, ya que en estos dos primeros puntos de muestreo encontramos mayor número de familias que en la parte baja, las condiciones del ecosistema son un factor importante para la composición y estructura de los organismos y esto se ve reflejado en la riqueza y en parte de la diversidad de especies; siendo los macroinvertebrados indicadores de calidad nos muestran que a lo largo del cauce del afluente esta se va deteriorando igual que el componente hidrobiológico.



Con el índice Jaccard representamos la similitud que tienen las zonas de muestreo con respecto a su abundancia de especies, como observamos en la Tabla 41 para época de verano y en la Tabla 42 para época de invierno. Los valores obtenidos van desde 0 cuando no hay familias compartidas en las zonas de estudio y 1 cuando las zonas tienen la misma composición de familias.

**Tabla 41. Índice de Jaccard para la época de verano.**

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	1	0,22222222	0,3	0	0,3	0,33333333
P2	0,22222222	1	0,25	0	0,25	0,28571429
P3	0,3	0,25	1	0	0,09090909	0,1
P4	0	0	0	1	0,28571429	0,14285714
P5	0,3	0,25	0,09090909	0,28571429	1	0,375
P6	0,33333333	0,28571429	0,1	0,14285714	0,375	1

**Tabla 42. Índice de Jaccard para la época de invierno.**

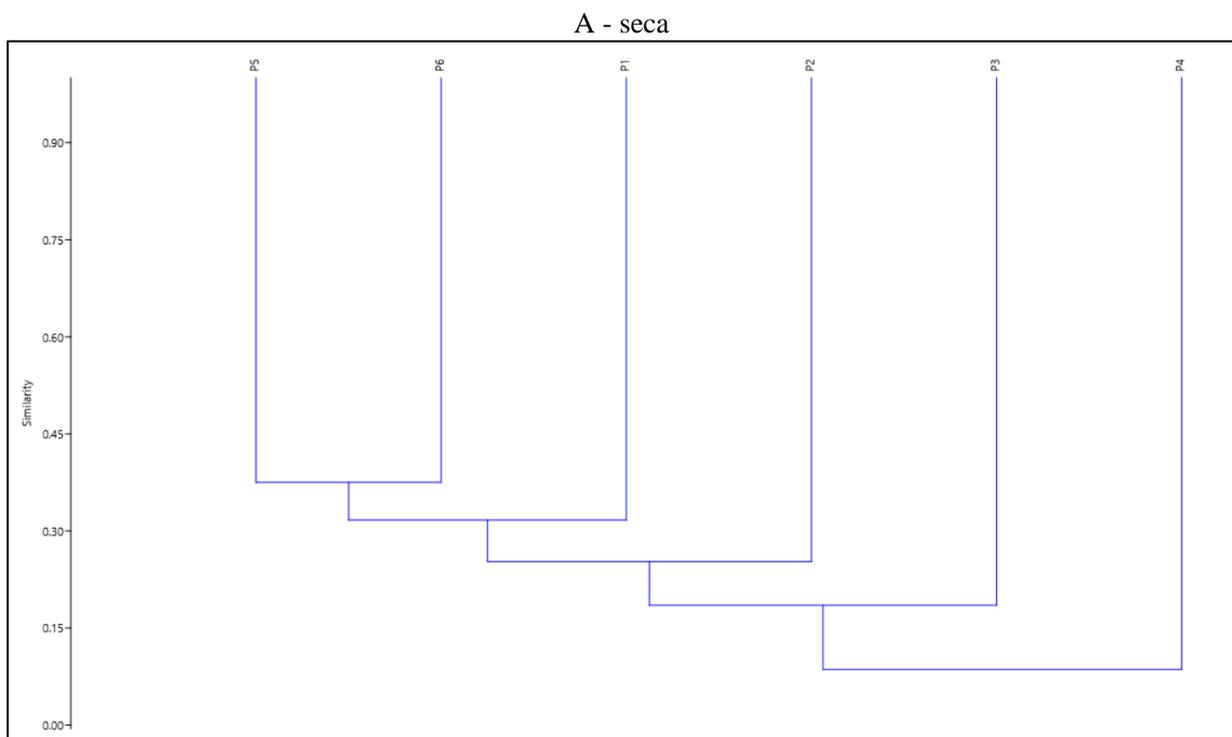
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	1	0	0	0,16666667	0,27272727	0,2
P2	0	1	0	0	0	0
P3	0	0	1	0,14285714	0	0
P4	0,16666667	0	0,14285714	1	0,30769231	0,23529412
P5	0,27272727	0	0	0,30769231	1	0,16666667
P6	0,2	0	0	0,23529412	0,16666667	1

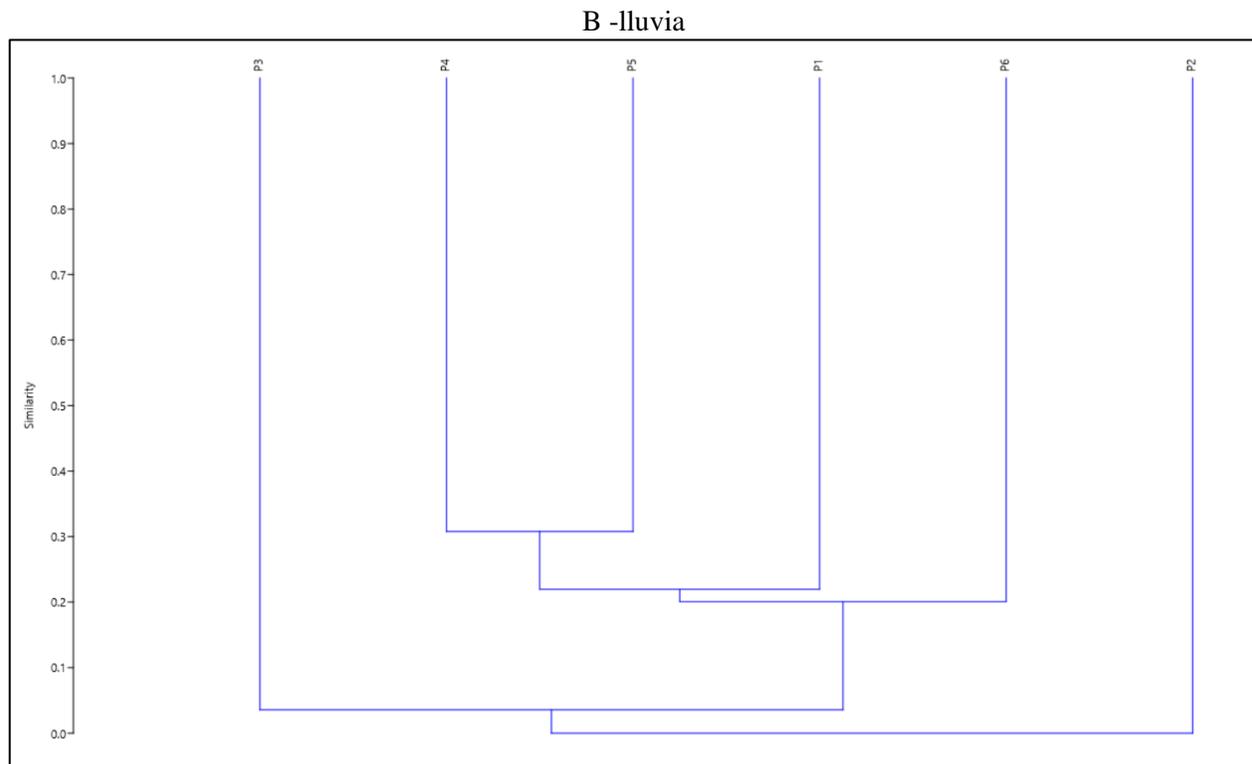
En la época seca evidenciamos que la estación P5 (Inter. Puente), P6 (Inter. Vía) y P1 (R. Gachaneca) conforman el primer conglomerado de similitud de familias con respecto a las otras tres estaciones, siguiendo el punto P1 (R. Gachaneca) y la estación que presenta menor similitud entre todos los puntos evaluados es la P4 (E. GFC), como se puede observar en la Figura 35-A. Entre las familias que se recolectaron en los puntos P5, P6 y P1 encontramos Celina (Adulto), Glossiphoniidae, Naididae, Sub. Tanypodinae, Sub. Chironominae, Psychoda, Hyallela, Tabanidae, Tenagobia y Physa, las cuales representan abundancia en la muestra debido a que se encontraron en gran número, lo que nos indica que estas dos estaciones presentan condiciones equivalentes para que se encuentren los mismos organismos y con afinidad en sus características de estructura y composición, adicionalmente estas dos estaciones se



encuentran en cercanía de zona urbana y recolectando aguas de los diferentes vertimientos de las actividades antrópicas presentes en la microcuenca.

En la época de lluvia se forman conglomerados, uno por parte de las estaciones P4 (E. GFC) y P5 (Inter. Puente) que representan una mayor similitud, caso que se presentó también en la época seca; y el otro conglomerado siguiendo el punto P1 (R. Gachaneca), como se puede observar en la Figura 35-B. Por lo tanto, la microcuenca presenta varios tipos de condiciones, la que se refleja en la cuenca alta y la que se refleja en la cuenca baja, donde los organismos manifiestan que varían su composición con respecto a la zona rural y la que esta intervenida por las condiciones aledañas lo que corrobora que las actividades antrópicas son una de las principales causas de la alteración del componente hidrobiológico, ya que se presenta gráficamente esta división la cuales se dan en dos medios o entornos diferentes (un espacio rural y uno con alta influencia urbana, minera y agrícola).





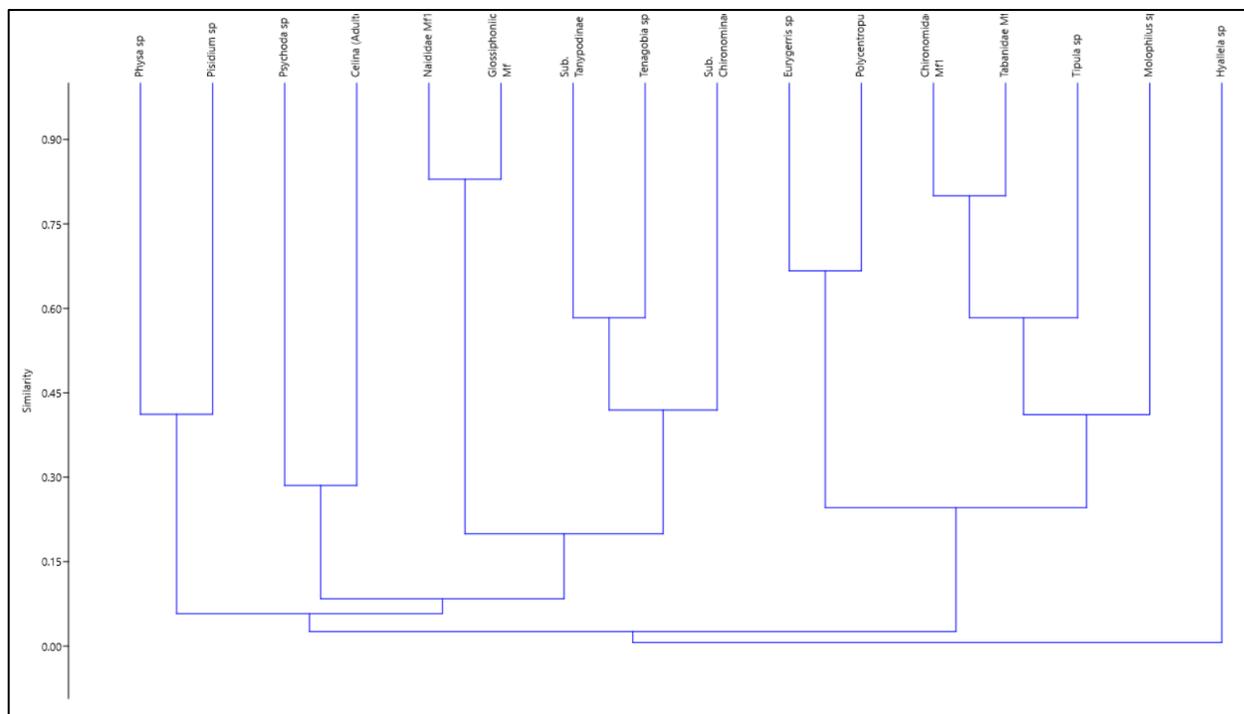
**Figura 35.** Índice de Jaccard para la época seca y de lluvia.

Al comparar las dos épocas de monitoreo observamos que se ve cambios en los organismos y en los conglomerados creados, esto debido a que los organismos necesitan unas condiciones especiales y que algunos son susceptibles a los cambios generando alteración en los resultados. Pero en ambas épocas se mantuvo la similitud entre los puntos P4 y P5 de la parte baja ya que en esta parte del ecosistema las condiciones están en gran relación con las actividades antrópicas las cuales son de tipo doméstico y que se realizan durante todo el año.

El análisis de agrupamiento jerárquico con datos de abundancia mediante la matriz de similitud de Bray – Curtis, mostro las asociaciones entre los diferentes taxones en la época de verano y evidencio 5 grupos Figura 36, dos de estos grupos presentan una similitud aproximadamente de 45%. El grupo (I) lo integran las familias Naididae, Glossiphoniidae, Sub. Tanypodinae, Tenagobia y Sub. Chironominae, presentándose en casi todos los sitios. El grupo II y III presenta un grado de similitud decreciente, en el caso del grupo II lo integran las familias Psychoda y Celina (Adulto),



y el grupo III lo integran las familias Physa y Pisidium, pero cuya abundancia no fue alta. El grupo IV lo integran las familias Eurygerris, Polycentropus, Chironomidae, Tabanidae, Tipula y Molophilus, se presentaron en varias estaciones de monitoreo, pero cuya abundancia no fue alta. El grupo V es la estación más disímil y está conformado por la familia de Hyallela, esta familia dentro de la campaña de muestreo para la época de verano presentó la mayor abundancia para el punto de monitoreo Empresa GFC.

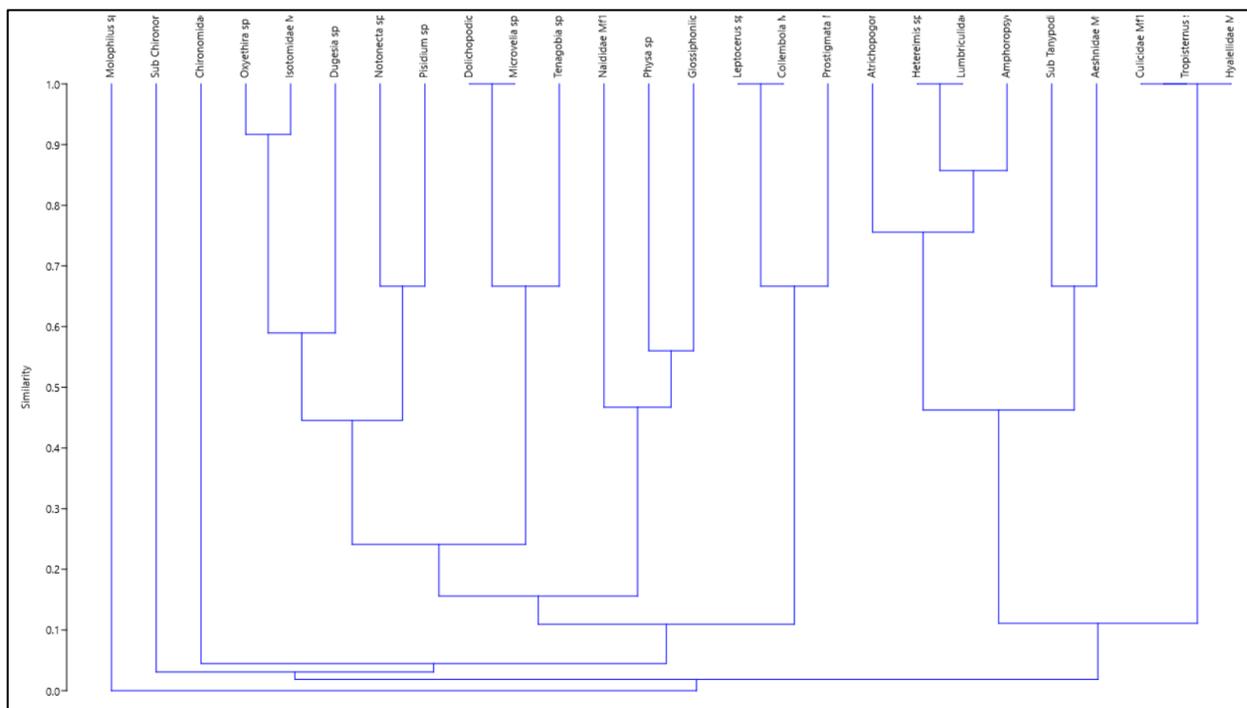


**Figura 36.** Dendrograma e similitud para las familias de macroinvertebrados acuáticos basados en el índice de Bray – Curtis para la época de verano.

El análisis de similitud para la época de invierno Figura 37, por la presencia-ausencia de los taxones permitió la identificación de un agrupamiento del 60% hasta el 100%, en la conformación de los grupos. El primer grupo está conformado por las familias Oxyethira, Isotomidae, Dugesia, Notonecta y Pisidium, estas familias se presentaron en dos estaciones de monitoreo diferente, pero no fueron las más abundantes en la muestra. El segundo grupo está conformado por



Dolichopodidae, Microvelia y Tenagobia con una similitud entre ellas del 100%, estas familias tienen una baja abundancia. El tercer grupo está conformado por Naididae, Physa y Glossiphoniidae, están presentes en las mismas estaciones de monitoreo que son Empresa GFC, Intersección puente Samacá e intersección vía principal. El cuarto grupo está conformado por la mayor diversidad de familias de macroinvertebrados como son Atrichopogon, Heterelmis, Lumbriculidae, Amphoropsycha, Sub. Tanypodidae, Aeshnidae, Culicidae, Tropisternus y Hyalellidae. En este período hidrológico se presentaron 3 grupos más disímiles como son Molophilus, Sub. Chironomidae y Chironomidae estos grupos son disímiles unos a otros con un porcentaje no superior al 10%.



**Figura 37.** Dendrograma e similitud para las familias de macroinvertebrados acuáticos basados en el índice de Bray – Curtis para la época de invierno.



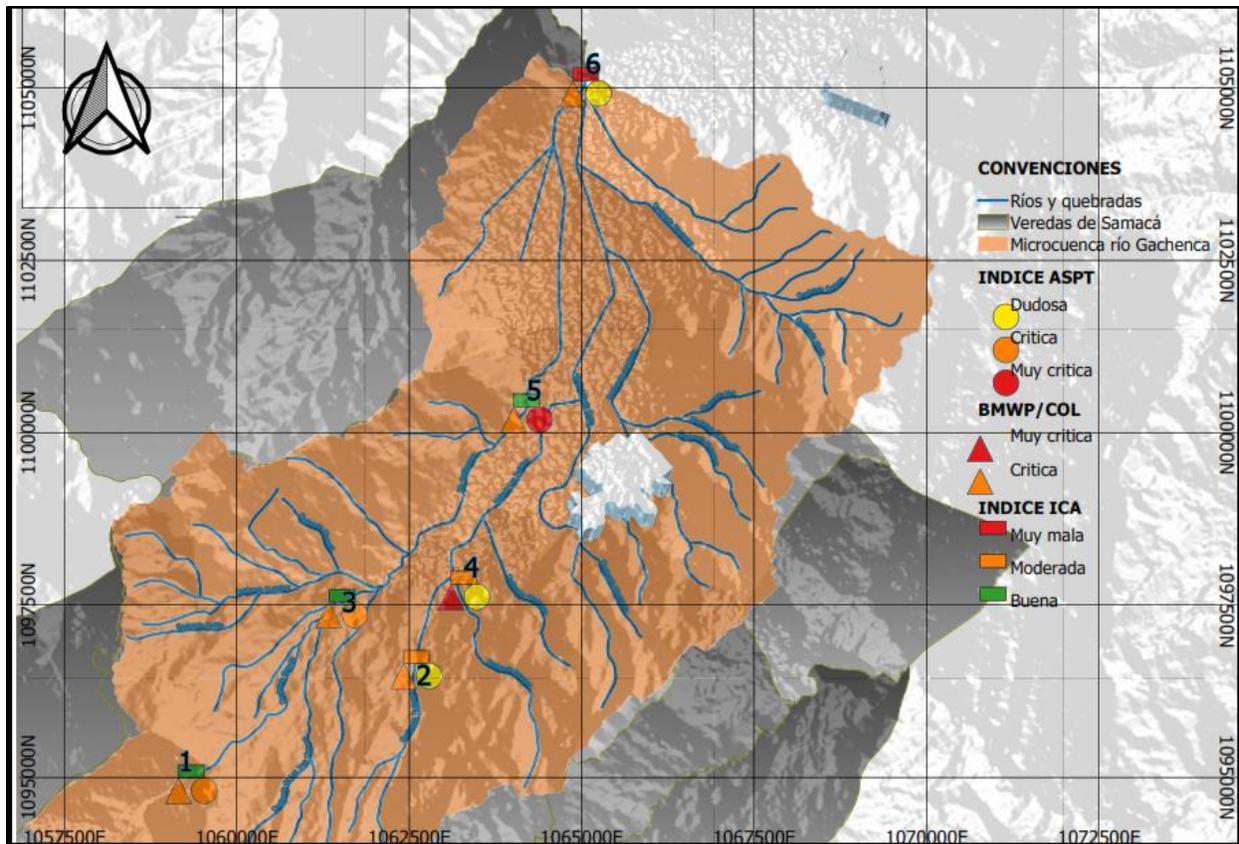
**7.2.5.2 Índices Biológicos.** En Colombia se han realizado diferentes estudios en fuentes hidrográficas para determinar la calidad del agua por medio de macroinvertebrados, la mayoría de estos basándose en la “Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col” de Roldan (2003) en el cual se establece este índice y los puntajes para cada familia para su correspondiente uso ya que es un método confiable. Unos de los ejemplos de la utilización de este índice son el caso del presente estudio en la quebrada Las Delicias y la “Evaluación de la calidad del agua por medio de bioindicadores macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Vieja” elaborado por Patiño (2017) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, donde adicionalmente usaron otros índices biológicos para evaluarla calidad del agua, teniendo similitud en la metodología empleada en este estudio.

Los índices biológicos se determinaron teniendo en cuenta diferentes como son el Índice BMWP/COL, ABI, ASPT y EPT métodos para las dos temporadas hidroclimáticas. Teniendo en cuenta que dentro de las temporadas de verano e invierno no se encontraron macroinvertebrados bentónicos del orden de los Ephemeroptera, Plecoptera no se logró realizar el análisis por el índice EPT, solo se logró encontrar macroinvertebrados del orden de los Trichoptera del género de los Polycentropus para la época de verano y del género Amphoropsyche, Leptocerus y Oxyethira en la época de invierno. Para el presente proyecto solo se analizará los índices biológicos de BMWP/COL, ABI y ASPT, como se evidencia en la Tabla 43.



**Tabla 43.** Resultados obtenidos de los índices biológicos (ABI, BMWP/COL y ASPT).

PUNTOS	ESTACIÓN DE MONITOREO	ABI		BMWP/COL		ASPT	
		VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
P1	R. Gachaneca	19	29	28	28	4,0	4,0
		Critica	Critica	Critica	Critica	Critica	Critica
P2	S.E Acerias	16	5	20	3	5,0	3,0
		Critica	Muy Critica	Critica	Muy Critica	Dudosa	Muy Critica
P3	Carpinteria	26	13	24	15	4,0	7,5
		Critica	Muy Critica	Critica	Muy Critica	Critica	Aceptable
P4	E. GFG	12	34	14	43	4,7	4,8
		Muy Critica	Critica	Muy Critica	Dudosa	Dudosa	Dudosa
P5	Inter. Puente	17	8	18	9	3,0	2,3
		Critica	Muy Critica	Critica	Muy Critica	Muy Critica	Muy Critica
P6	Inter. Via	15	26	26	27	5,2	3,4
		Muy Critica	Critica	Critica	Critica	Dudosa	Muy Critica



**Figura 38.** Comparación de los resultados de los Índice ICA, BMWP/COL y ASPT, para época de verano.

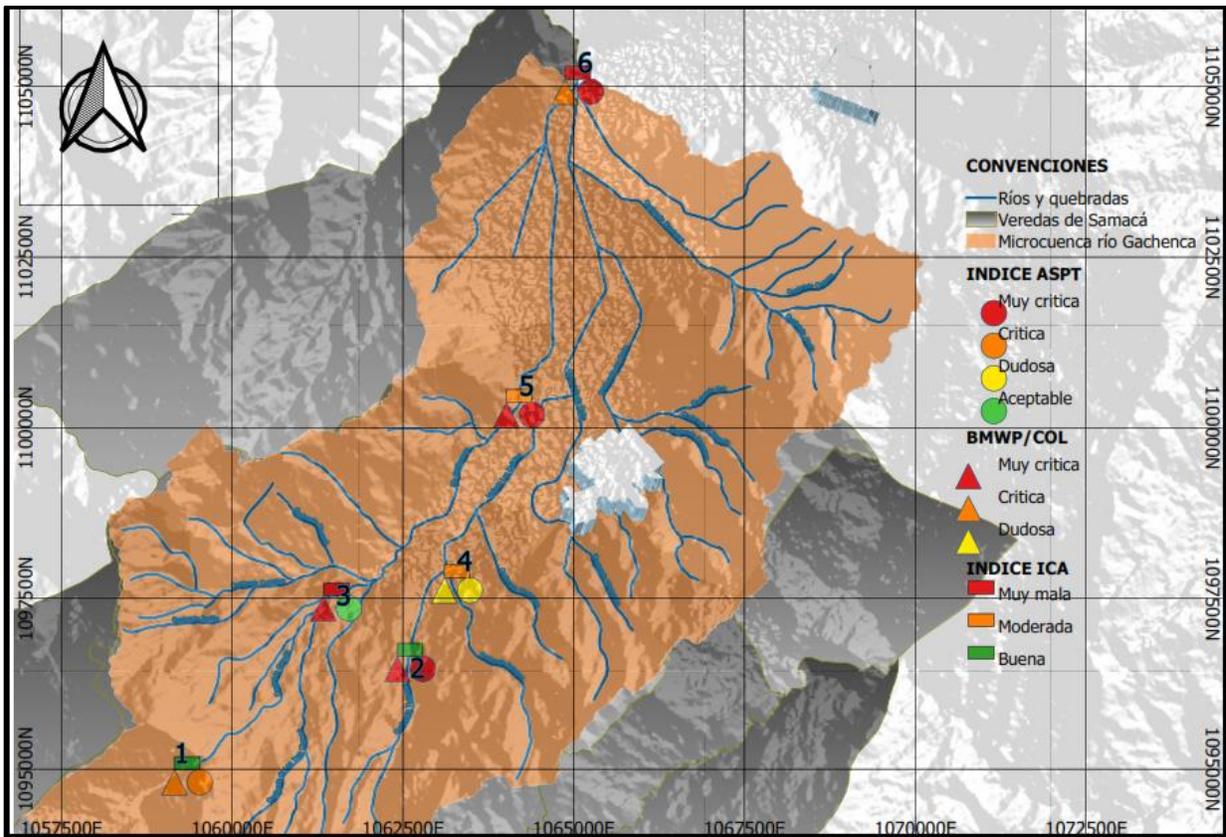


Figura 39. Comparación de los resultados de los Índice ICA, BMWP/COL y ASPT, para época de invierno.

De acuerdo al índice BMWP/COL, los valores que se obtuvieron en promedio para la época de verano fueron en un rango de 14 – 28, en donde el valor más alto fue para la estación P1 (R. Gachaneca) y la estación más crítica fue P4 (E. GCF). Al cambio para la época de invierno los valores estaban dentro de un rango de 3 – 43, en donde el valor de calidad dudosa (43), fue para el punto de monitoreo P4 (E. GFC), el P1 (R. Gachaneca) mantuvo su calidad crítica con el mismo valor cuantitativo de 28 y las más crítica fue en la estación de monitoreo P2 (S.E. Acerías) con un valor cuantitativo de 3. 2). No obstante, aunque con el BMWP es posible obtener puntuaciones para comparar situaciones de calidad, este índice no permite emitir juicios sobre la situación de la calidad. Las descargas a los sistemas son una de las principales amenazas para la calidad de las aguas y la fauna acuática, por lo que la abundancia de los macroinvertebrados acuáticos disminuye y afecta el valor del BMWP/Col. También se puede evidenciar que la calidad del agua



según el índice BMWP/COL en general estuvo mejor en la época de verano que en la época de invierno, ya que en la época de verano solo se obtuvo una calificación cualitativa de muy crítica P4 (E. GFC) y en la época de invierno se obtuvieron tres calificaciones cualitativas de muy crítica en las estaciones P2 (S.E. Acerías), P3 (Carpintería) y P5 (Inter. Puente). Ver anexo H – Calculo de índices biológicos para macroinvertebrados acuáticos. Cabe resaltar que las estaciones P2 (S.E. Acerías) y P3 (Carpintería), tanto para la época de verano e invierno, fueron los puntos con menos abundancia de organismos, esto pudo deberse posiblemente a la ausencia de parches de macrófitas que afecta significativamente la diversidad de organismos. Quiroz et al., (2010) afirma que la distribución de los macroinvertebrados acuáticos, se ve afectada principalmente por la presencia de vegetación flotante, la cual constituye un sustrato y refugio para una gran diversidad de comunidades bentónicas. De igual manera Ramírez & Viña, (1998), resumen la importancia de las comunidades de macrófitas en cuanto a que confieren estabilidad al terreno, generan la vía trófica directa y la detrítica, diversifica la vía trófica y constituye la base para el desarrollo de una abundante y diversa comunidad de organismos asociados.

Según el índice ASPT cualitativamente se evidencio un cambio en los resultados para la época de verano tres estaciones de monitoreo arrojaron valores con rangos desde 4.7 – 5.2 con calificación dudosa en las estaciones P2 (S.E. Acerías), P4 (E. GFC) y P6 (Inter. Vía). Para la época de invierno arrojó como resultado para la estación de monitoreo P3 (Carpintería) cuantitativamente 7.5 para una calificación aceptable, adicional tres estaciones arrojaron una calificación cualitativa Muy crítica como son P2 (S.E. Acerías), P5 (Inter. Puente) y P6 (Inter. Vía).

Los resultados del índice ABI fueron muy similares a los del índice BMWP/COL, que para la época de verano en las estaciones de monitoreo P4 (E. GFC) y P6 (Inter. Vía) sus valores cualitativos fueron muy crítico, para las otras tres estaciones sus valores cualitativos fueron crítico. Para la época de invierno las estaciones de monitoreo P2 (S.E. Acerías), P3 (Carpintería) y P5 (Inter. Puente) sus valores cualitativos fueron muy crítico, para las otras dos estaciones sus



valores cualitativos fueron crítico. Este índice sirvió para evaluar la calidad del agua y su integridad ecológica de ecosistemas acuáticos andinos. Ver anexo H – Calculo de índices biológicos para macroinvertebrados acuáticos.

**Tabla 44.** *Índices de Sensibilidad para la época de verano e invierno.*

	E. VERANO	E. INVIERNO
<b>Resultado</b>	12	44
<b>Calidad del Agua</b>	MUY MALA	REGULAR
<b>Sensibilidad</b>	Aceptan Muchos Contaminantes	Aceptan Pocos Contaminantes

En cuanto al grado de sensibilidad según Carrero y Fierro, se tiene que para la época de verano la calidad del agua es muy mala, lo que quiere decir que los macroinvertebrados tienen una sensibilidad a muchos contaminantes y para el caso de la época de invierno hubo una mejoría en los macroinvertebrados encontrados ya que estos tenían una sensibilidad de aceptar pocos contaminantes.

#### **7.2.6 Discusión de los Resultados Estadísticos y Correlación entre los Parámetros Físicoquímicos y Macroinvertebrados Acuáticos.**

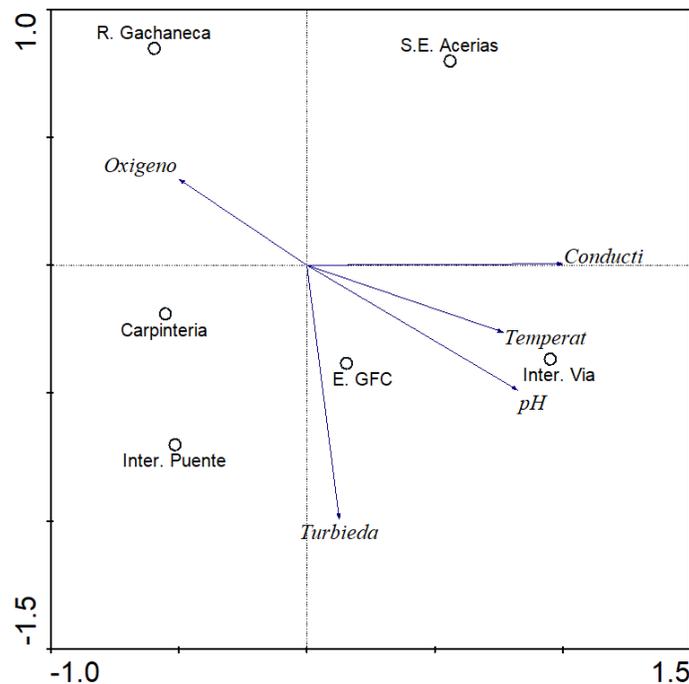
La importancia de este análisis radica en que se puede hacer una mejor interpretación de todos los datos existentes, pues en un principio se tienen datos de todas las muestras con sus parámetros fisicoquímicos y las abundancias de cada familia correspondientes, partiendo de la reducción de datos que se consideren poco relevantes. Se realizaron observaciones descriptivas para las variables de caracterización fisicoquímica en cada una de las estaciones de muestreo, análisis de componentes principales (ACP).

Los resultados de las características físicas y químicas evidencian diferente grado de variación entre los sitios; el sitio que presentó valores significativamente mayores en todas las variables fue



el sitio P6 (Intersección Vía Principal), se sugiere que sea por las actividades agropecuarias desarrolladas, las cuales incrementan la entrada de materia orgánica, nutrientes y sedimentos al cauce.

Las variables de conductividad y pH, estuvieron correlacionadas; mostrando los menores valores en el sitio P1 (Río Gachaneca), los cuales indican condiciones de mejor calidad de agua, asociado a la disminución de aportes alóctonos de materia orgánica en este sitio. El comportamiento de la alcalinidad expresó un valor relativamente alto para los sitios; P4 (E. Germán Franco) y el sitio P6 (Intersección Vía Principal), esto incide en el mantenimiento de las condiciones de neutralidad del pH. En cuanto a los valores de la dureza; las aguas se catalogaron como moderadamente duras en los sitios; P1 (Río Gachaneca), P3 (Carpintería) y el sitio P5 (Inter. Puente), lo que estaría relacionado con las características del suelo y la naturaleza geológica de la cuenca.

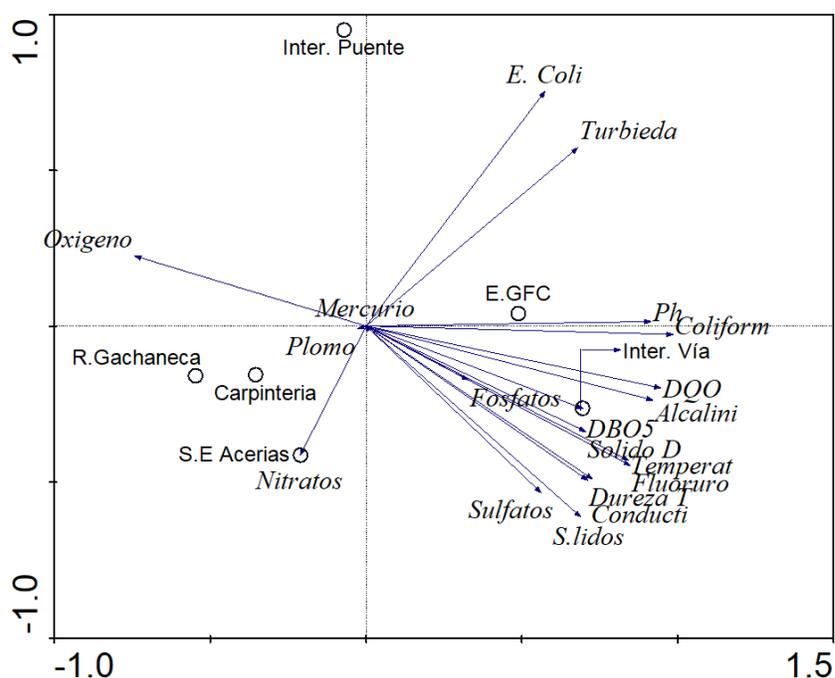


**Figura 40.** ACP de las variables in situ fisicoquímicas para la época de verano.



**Tabla 45.** Componentes principales y porcentaje acumulado de las variables in situ para la época de verano.

Número de Componente	% variance	% Acumulado
1	96	96
2	3,83	99,84
3	0,015804	99,857
4	0,00090488	99,858
5	2,47E-01	100



**Figura 41.** ACP de las variables físicas y químicas para la época de verano.

**Tabla 46.** Componentes principales y porcentaje acumulado para la época de verano.

Número de Componente	% variance	% Acumulado
1	76	76
2	15,1	91,1
3	8,7	99,8
4	0,115	99,9
5	0,081042	100,0

En la Figura 40 y 41, se muestra gráficamente el comportamiento de las variables, el gráfico consta de cuatro cuadrantes numerados en contra de la manecilla del reloj (cuadrante I a



cuadrante IV). Las variables se ordenan conforme a la relación que guardan entre sí y su magnitud determina el grado de importancia para ambos componentes.

EL ACP respectivo Figura 41, representó el primer componente con 76% y el segundo con 15.1% de porcentaje explicativo; se definen dos grupos de asociación entre las variables físicas y químicas con cada uno de los sitios; el primer grupo lo conforman las variables alcalinidad total y sólidos suspendidos totales con el sitio P6 (Intersección Vía Principal); posiblemente esté relacionado por el deterioro asociado a las acciones antrópicas que se registran en este sitio. El segundo grupo lo constituyen las variables E. Coli y turbiedad con los sitios; P4 (E. Germán Franco) y el sitio P5 (Intersección Puente), posiblemente se relacionen principalmente por las descargas de aguas residuales vertidas directamente al sistema acuático y por los residuos sólidos hallados en la ribera de los sitios. En la tabla 45 y 46, se evidencia el porcentaje de varianza y porcentaje acumulado arrojados por las ACP de las variables físicas y químicas de los datos tomados in situ y por laboratorio en la época de verano.

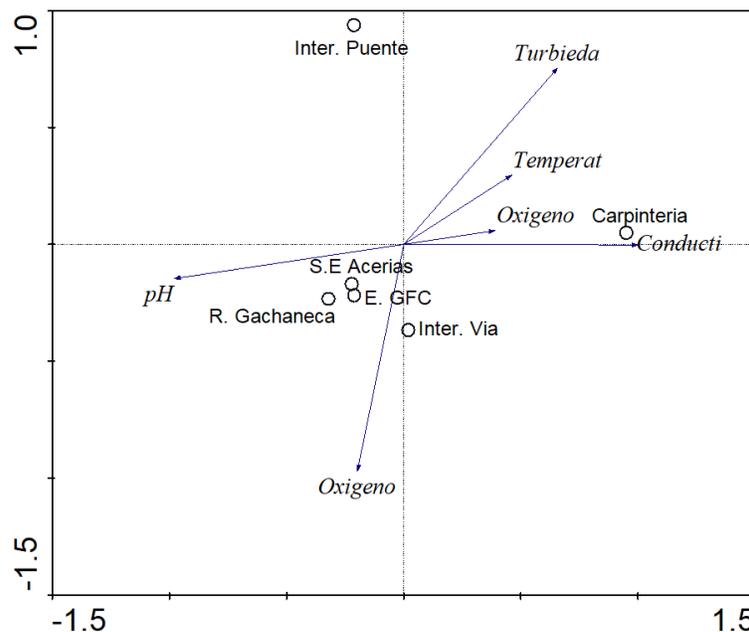


Figura 42. ACP de las variables in situ fisicoquímicas para la época de invierno.



**Tabla 47.** Componentes principales y porcentaje acumulado de las variables in situ para la época de invierno.

Número de Componente	% variance	% Acumulado
1	99,72	99,72
2	0,0027961	99,723
3	0,000073586	99,723
4	0,030053	99,753
5	0,010198	100

Los resultados de las características físicas y químicas para la época de invierno, evidencian diferente grado de variación entre los sitios; el sitio que presentó valores extremos en todas las variables fue el P3 (Carpintería), se sugiere que sea por alteraciones de origen antrópico; como la actividad agrícola y el vertimiento de aguas residuales al cauce sin tratamiento previo, las cuales incrementan los valores de conductividad y de sólidos disueltos totales y la disminución extrema de la variable pH en este sitio.

La variable conductividad expresó altos valores en la mayoría de los sitios de muestreo, exceptuando la P1 (Río Gachaneca), estos valores pueden deberse a un aumento en la entrada de sales minerales por escorrentía y a una descomposición de la materia orgánica; el valor registrado en el sitio P3 (Carpintería), supera los valores registrados para los sistemas acuáticos Neotropicales. La temperatura en todos los sitios fue uniforme lo que está asociado a la homogeneidad en los bajos caudales y en la escasa cubierta vegetal. El pH osciló entre 2,9 hasta 7,04; los valores ácidos pueden estar asociados a la degradación de materia orgánica de posibles descargas industriales, el mínimo valor no se encuentra dentro de los límites para la supervivencia de organismos acuáticos, por lo que se considera un factor estresante para la comunidad.

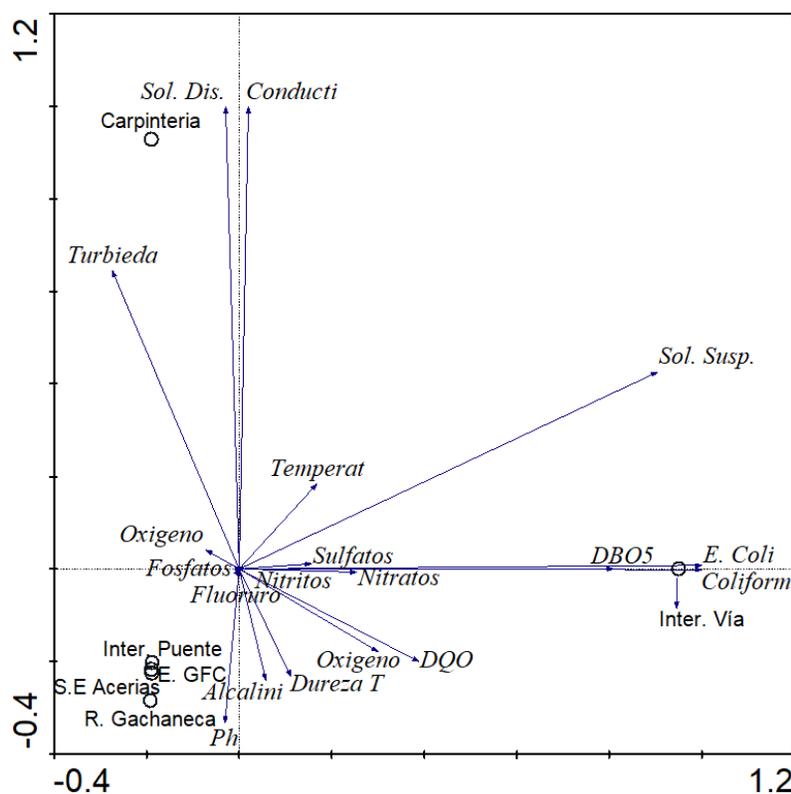


Figura 43. ACP de las variables físicas y químicas para la época de invierno.

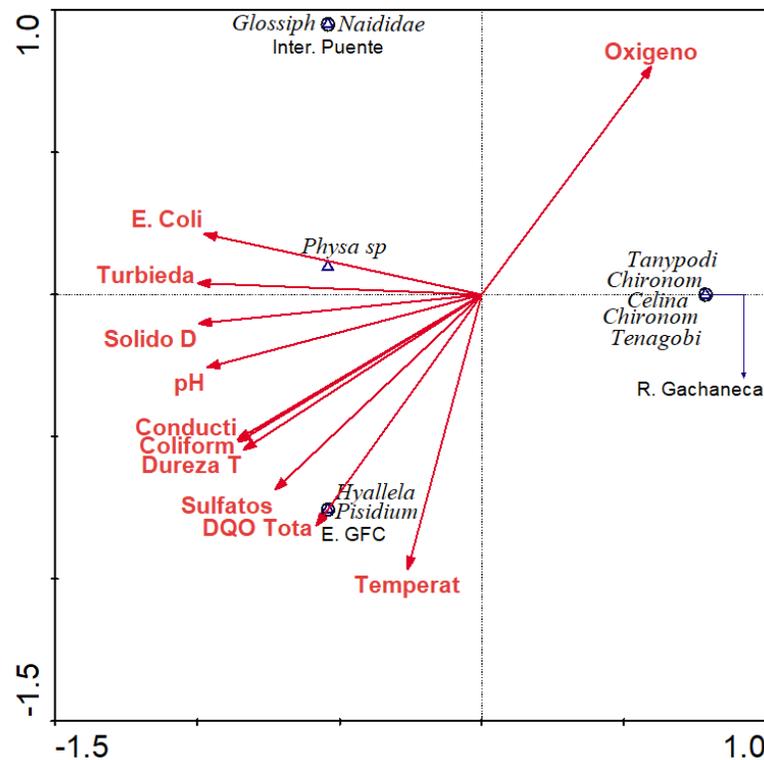
Tabla 48. Componentes principales y porcentaje acumulado para la época de invierno.

Número de Componente	% variance	% Acumulado
1	99,972	99,972
2	0,0027999	99,975
3	0,0022233	99,977
4	0,0031567	99,980
5	0,0005743	100,0

Los valores de oxígeno disuelto reportados indican niveles de buena calidad, esta variable depende del cauce, turbulencia y de los procesos químicos y biológicos. El comportamiento de los sólidos disueltos totales es similar en la mayoría de los sitios de estudio considerados típicos en aguas continentales; las máximas cargas se midieron en el P3 (Carpintería), este incremento puede asociarse a descarga de aguas residuales.



EL ACP respectivo Figura 43, representó el primer componente con 99% y el segundo con 0.002% de porcentaje explicativo; se definen tres grupos de asociación entre las variables físicas y químicas con cada uno de los sitios; el primer grupo lo conforman las variables conductividad, Sólidos disueltos y turbiedad asociada al punto de muestreo P3 (Carpintería); mientras que se resalta una relación inversa con el oxígeno disuelto. El segundo constituye el pH con el P2 (S.E. Acerías), y el tercer grupo lo constituyen los sólidos suspendidos totales, la temperatura, DBO<sub>5</sub>, nitratos y E. Coli con el sitio P6 (Intersección Vía Principal). En la tabla 47 y 48, se evidencia el porcentaje de varianza y porcentaje acumulado arrojados por las ACP de las variables físicas y químicas de los datos tomados in situ y por laboratorio en la época de invierno.



**Figura 44.** Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de las variables físicas y químicas con los 10 taxones más representativos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la época de verano.

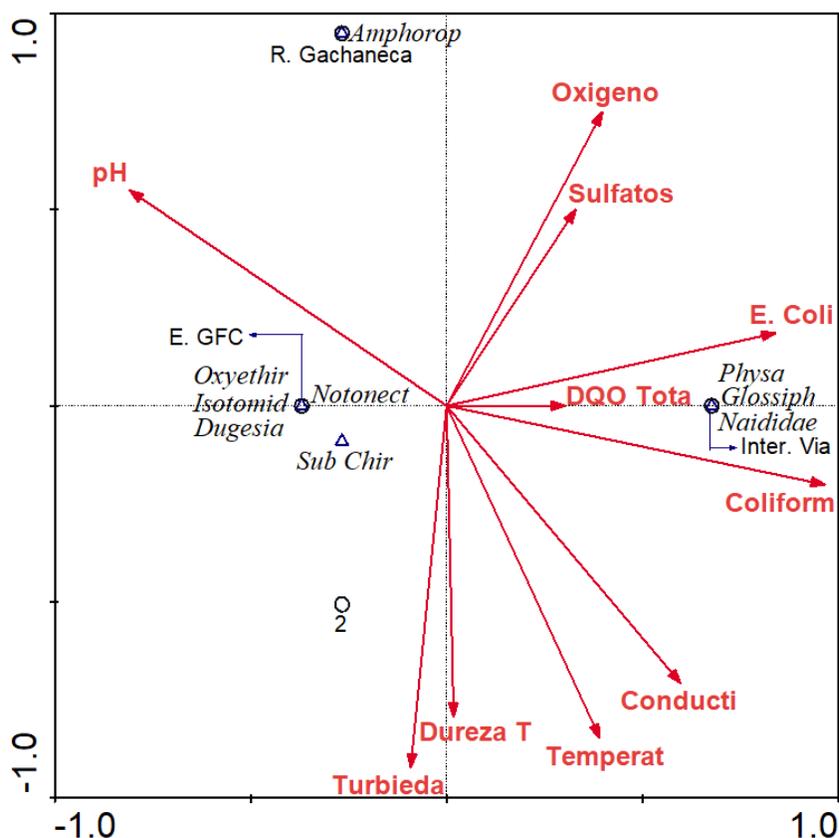


**Tabla 49.** Nivel de agrupamiento en ejes del análisis de ACC para la época de verano.

Axis	Eigenvalue	%
1	0,87332	54,85
2	0,66665	41,87
3	0,04098	2,574

El análisis de correspondencia canónica (ACC), presenta la ordenación de las variables físicas, químicas y la comunidad de macroinvertebrados en cada uno de los sitios de muestreo Figura 44. El ACC señaló el 99,29% de la variabilidad total en los dos primeros ejes Tabla 49. El primer componente (55%), relacionado principalmente con la conductividad, coliformes totales y el pH. El segundo eje canónico explicó un 42%, porcentaje similar al del primer eje de análisis; en este componente se asocian las variables Turbiedad y E. Coli. De acuerdo con los sitios y los taxones, se formaron grupos de la siguiente manera; el taxón de Physa asociado a la variable E. Coli, en el segundo grupo se situaron los taxones *Hyallela* sp y *Pisidium* sp asociados a la variable de DQO y el sitio P4 (E. Germán Franco). Las familias Naididae Mf1 y Glossiphoniidae Mf1 se asociaron al sitio P5 (Intersección Puente). El resto de las morfoespecies se ubicaron en posiciones intermedias y no se asociaron significativamente con las variables ambientales, se sugiere que sea porque estos factores presentaron una heterogeneidad repercutiendo en la amplia distribución de los taxones hallados.

Las variables físicas y químicas: pH, Conductividad, Dureza Total, Sólidos Suspendidos Totales, Alcalinidad Total; están correlacionados con los taxones de macroinvertebrados bentónicos: Celina, Chironomidae, Naididae Mf1, Glossiphoniidae Mf1, Sub. Tanypodinae, Tenagobia, Sub. Chironominae, *Hyallela*, *Physa*, *Pisidium*.



**Figura 45.** Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) de las variables físicas y químicas con los 10 taxones más representativos de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la época de invierno.

**Tabla 50.** Nivel de agrupamiento en ejes del análisis de ACC para la época de invierno.

Axis	Eigenvalue	%
1	0,67404	66,93
2	0,22721	22,56
3	0,10578	10,5

El análisis de correspondencia canónica (ACC), presenta la ordenación de las variables físicas, químicas y la comunidad de macroinvertebrados en cada uno de los sitios de muestreo Figura 45. El ACC reveló el 90% de la variabilidad total en los dos primeros ejes Tabla 50. El primer componente (67%), fue asociado positivamente con la temperatura y los sólidos disueltos totales. El segundo eje canónico explicó un 23%, en este componente se asocian las variables conductividad y oxígeno disuelto. El ACC formó dos grupos en los sitios y los taxones; el taxón



*Physa* sp, Glossiphoniidae y Naididae asociado a las variables E. Coli, DQO Total, Coliformes totales, en el segundo grupo se situaron los taxones Sub. Chironominae, *Dugesia* sp, Isotomidae Mf1 y *Oxyethira* sp asociados al Ph y al sitio P4 (E. Germán Franco). Los otros taxones no revelaron asociaciones significativas ni por variables ni con sitios; las diferencias observadas pueden atribuirse a la tolerancia de estos taxones a procesos de mineralización, vertimiento de aguas y efectos de actividades agropecuarias. Es importante mencionar que la Familia de los Chironominae se destacó por su abundancia para la época de verano en el sitio P1 (Río Gachaneca) y para la época de invierno en el sitio P1 (Río Gachaneca) y en el sitio P5 (Intersección Puente), esta familia es indicadora de aguas medianamente contaminadas y muy contaminadas, mesotróficas a eutróficas Roldan (2003); Lievano y Ospina (2007).

Los Taxones de macroinvertebrados bentónicos más representativos fueron *Amphoropsyche* sp, *Oxyethira* sp, Sub Chironominae, *Dugesia* sp, Naididae Mf1, *Notonecta* sp, Isotomidae Mf1, *Physa* sp, *Pisidium* sp, Glossiphoniidae Mf1.

Para las dos épocas climatológicas se correlaciono con las variables físico químicas la clase Hemiptera, aunque esta no represento abundancia alta de individuos, si se evidencio que para la época de verano hubo presencia de *Tenagobia* y para la época de invierno *Notonecta*. Cabe señalar que Weirauch y Schuh (2011), describieron que los hemípteros están entre los órdenes de insectos de mayor riqueza. Así mismo, para las dos épocas se correlaciono con la familia de Naididae los cuales viven en aguas altamente contaminadas y eutrofizadas, y pueden tolerar bajas concentraciones de oxígeno (Roldán, 2003; Liévano y Ospina, 2007). En la mayoría de las situaciones, el incorporar materia orgánica puede resultar en una pérdida en la saturación del oxígeno disuelto como resultado de los procesos de oxidación que causan la descomposición anaeróbica de cualquier material orgánico presente y facilitan la formación de gases nocivos como el disulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y metano como indicadores de alta contaminación (Orozco et al., 2003; Sierra, 2011).



### **7.3 Alternativas Sostenibles para el Mejoramiento de la Calidad del Agua.**

El estado de conservación de las fuentes hídricas y especialmente de los lugares de captación de los acueductos del municipio de Samacá, por información recopilada en campo con algunos usuarios de acueductos se conoció que son muy pocos los acueductos que invierten en reforestación y protección de los sitios de captación, los recursos captados por prestación de servicios son utilizados para el pago de salario de los fontaneros, para reparaciones de las líneas de conducción y domiciliarias y para ampliación en algunos casos de los tanques de almacenamiento que distribuyen el agua a los usuarios. Son muy pocos quienes invierten en la compra de predios para la conservación y quienes lo han hecho, los predios se compran y se dejan sin ningún tipo de vigilancia por quienes los adquieren, permitiendo que otras personas pastoreen ganado y exploten leña del predio.

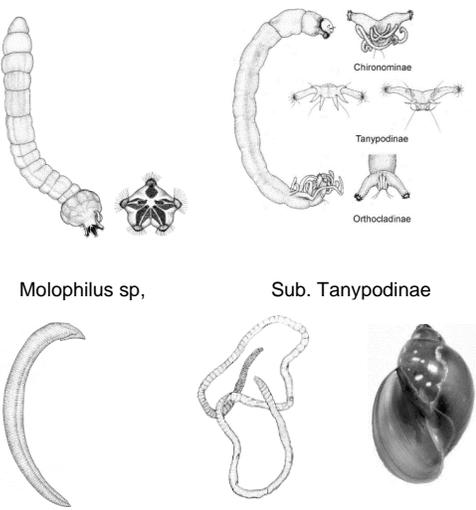
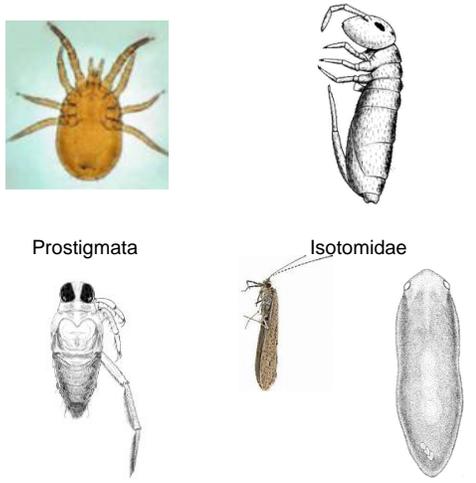
De los 54 acueductos presentes en el municipio solo tres poseen planta de tratamiento como son la vereda Centro de la fuente Teatinos y Nacimiento, la vereda Gachaneca de la fuente del Río Gachaneca y el casco urbano de la fuente de Teatinos y abastecimiento por pozo profundo. Por otra parte, solo 4 veredas poseen sistema de potabilización como son la vereda La Chorrera Sector Bajo, Churuvita el Infiernito, Loma Redonda y Salamanca “La Fabrica”. Por lo anterior, el interés del presente estudio de evaluar integralmente la microcuenca del Río Gachaneca para estudiar el grado de contaminación que esta presenta, ya que actualmente el Departamento de Boyacá presenta problemáticas de contaminación en sus fuentes hídricas, porque gran parte de los ríos más importantes es donde se asientan más del 90% de la población y estos están siendo deteriorados por las descargas de aguas residuales sin tratar, vertimientos industriales y mineras.

Por eso luego de evaluar los puntos críticos de la microcuenca en cuanto a su calidad del agua es necesario analizar los parámetros físicos, químicos y microbiológico asociados a los macroinvertebrados bentónicos, para así revisar la mejor alternativa sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. Dentro de las alternativas se propone la utilización de



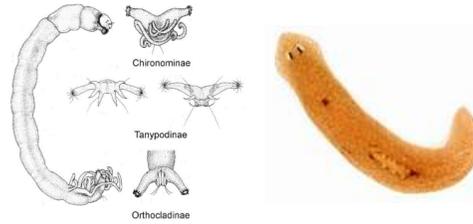
coagulantes naturales, tratamientos activos por sustancias químicas, métodos biológicos naturales y filtro de Bioarena. Estas alternativas tienen la capacidad de metabolizar e inmovilizar ciertos compuestos contaminantes, depurar el agua y reducir el riesgo de toxicidad. A continuación, se evidencia en la Tabla 51, la correlación entre los parámetros fisicoquímicos alterados asociados a los macroinvertebrados bentónicos y su posible alternativa sostenible.

**Tabla 51. Alternativas sostenibles para los parámetros en estado críticos.**

PARAMETROS CON MAYOR INFLUENCIA	BIOINDICADOR ASOCIADO	ALTERNATIVA SOSTENIBLE
<p><b>Turbiedad:</b> Es una medida visual de contaminación, esta se origina por materiales externos al ecosistema se denomina <i>alóctona</i> y la producida dentro del mismo cuerpo (por productividad primaria), se denomina <i>autóctona</i>. La turbiedad se aumenta en el agua producto de construcción de vías, exceso de materiales extraídos, la deforestación y la agricultura intensiva, que al depositarse en el fondo de los ríos destruyen los hábitats de numerosas especies. (Roldan,2003).</p>	 <p>Molophilus sp, Sub. Tanypodinae Glossiphoniidae Mf1 Tubificidae Physidae</p>	<p>* <b>Coagulantes Naturales:</b> Esta alternativa consiste en el potencial del almidón de cáscara de yuca (CPS) como reemplazo de los coagulantes químicos comerciales para el tratamiento de aguas residuales institucionales, ya que el CPS es altamente biodegradable con lodos no tóxicos y relativamente disponible localmente y barato de obtener. La yuca es otro coagulante alternativo verde que tiene un alto potencial para eliminar la turbidez, los sólidos suspendidos totales, el contenido orgánico y la demanda química de oxígeno (DQO). Las cáscaras de yuca (CPS) como coagulante auxiliar tienen estructura molecular con grandes grupos funcionales, tienen una alta afinidad para coagularse con elementos y otras impurezas del agua, así desestabilizan las partículas coloidales, las cuales neutralizan las cargas electrostáticas y hacen que las partículas tiendan a unirse entre sí. Por otro lado, la floculación ayuda a la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de sedimentadores. (Saritha, et al., 2020).</p>
<p><b>Conductividad eléctrica:</b> La solubilidad del oxígeno también está afectada por un incremento de su salinidad. Este factor es muy importante tenerlo en cuenta cuando se trabaja con ecosistemas acuáticos, pues allí los problemas de adaptación de los organismos ya no son solo por déficit del oxígeno, si no también por osmorregulación. Este parámetro es importante porque al incremento de salinidad, este es letal para la mayoría de los organismos que allí habitan (Roldan,2003).</p>	 <p>Prostigmata Isotomidae Notonecta Leptocerus y Dugesidae</p>	<p>* <b>Extracción por solvente con oscilación de temperatura:</b> Esta es una técnica que puede limpiar el fango toxico generado por otros métodos. Funciona agregando agua salobre a un solvente único. El agua salobre se hunde hasta el fondo debido a su mayor densidad, y luego la mezcla se coloca en un baño de baja temperatura, donde el agua se separa del solvente. Esto hace que el disolvente permita extraer el agua limpiamente y sin altos contenidos de salinidad. Este método limpia hasta el 98,4%, que es la misma tasa de eficacia de la ósmosis inversa (Método Industrial). (McCarthy, et al., 2019),</p>

PARAMETROS CON MAYOR INFLUENCIA	BIOINDICADOR A SOCIADO	ALTERNATIVA SOSTENIBLE
---------------------------------	------------------------	------------------------

**pH:** La contaminación de los ecosistemas acuáticos con residuos orgánicos o industriales rompe el equilibrio ecológico, lo cual provoca cambios drásticos de pH, se tornan más marcados los fenómenos de respiración y fotosíntesis y se ocasiona el agotamiento del oxígeno en las horas de la noche y exceso de producción durante el día. Obviamente, la mayoría de las especies no resisten estos cambios y terminan por desaparecer. (Roldan,2003).



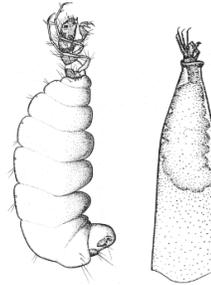
Sub. Chironominae



Dugesia sp



Isotomidae Mf1



Oxyethira sp

**\* Tratamiento del pH mediante tratamiento activo:** Es un proceso en el cual se agregan químicos a las descargas de agua, para así mantener las características deseadas del efluente, es decir que estas tecnologías de tratamiento activo requieren adición química para poder neutralizar la acidez y precipitar metales. La precipitación química involucra la eliminación de contaminantes metálicos de soluciones acuosas mediante la transformación de metales pesados solubles en sales insolubles. Esta precipitación de contaminantes metálicos es producida por la adición de reactivos químicos que aumentan el pH del agua a la solubilidad mínima del metal. Los reactivos estándar incluyen los siguientes: cal (hidróxido de calcio), soda cáustica (hidróxido de sodio), hidróxido de magnesio, carbonato de sodio, fosfato trisódico, sulfuro de sodio o sulfuro ferroso. Estos reactivos precipitan metales como hidróxidos, carbonatos, fosfatos o sulfuros, formando lodos que deben eliminarse del sistema de tratamiento.

**DQO:** La disminución del oxígeno disuelto en el agua debido a cambios de temperatura, salinidad o contenido de materia orgánica puede ser fatal para la mayoría de los organismos acuáticos. La materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica, consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de las especies acuáticas. (Roldan,2003).



Hyalella



Pisidium sp



Naididae



Glossiphoniidae Mf1

**\*Eliminación mediante sistemas hidropónicos:** Este es un método biológico que preservan la microflora natural, los cuales son amigables con el medio ambiente y son capaces de eliminar DQO, DBO y nutrientes y patógenos del afluente. La remoción de DQO varía de 49.02% a 98.96%, cuando se usó humedal artificial en el tratamiento de aguas residuales domésticas y atribuyo un mayor porcentaje de remoción a la filtración. La remoción significativa de materia orgánica se atribuyó a la degradación microbiana aeróbica y anaeróbica en la descomposición de contaminantes que fue favorecida por el suministro constante de oxígeno a la rizosfera por macrófitas. (Ndulini, et al., 2018).



**PARAMETROS CON MAYOR INFLUENCIA**

**BIOINDICADOR A SOCIAADO**

**ALTERNATIVA SOSTENIBLE**

**Coliforme Total:** Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. La presencia de bacterias coliformes es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición.

Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo. La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana. Por ello, el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población. (Ramos - Ortega, et al., 2008).



Physa,



Glossiphoniidae,

**E. Coli:** Las aguas naturales no contaminadas poseen por lo regular bajas concentraciones de materia orgánica disuelta (menos de 2mg/L). La contaminación por desechos domésticos o industriales pueden agotar el oxígeno en el agua, pues la materia orgánica lo requiere para su descomposición. Es de esperarse, por tanto, una fuerte reducción de la diversidad de especies de macroinvertebrados, quedando presentes por lo regular en grandes números, sólo aquellos adaptados para resistir dichas condiciones. De nuevo, los tubificidos y quironómidos rojos serán los indicadores de este tipo de contaminación. Bajo condiciones extremas de contaminación orgánica se pueden encontrar valores superiores a los 80.000 tubificidos por m2. (Roldan,2003).



Naididae

**\*Filtro de Bioarena:** Esta alternativa consiste en la caída en el espacio poroso entre los granos de arena en un medio filtrante que da como resultado una reducción de la permeabilidad y mejora la eficiencia de captura. Lo anterior, apoya enormemente el desarrollo de una biocapa. A través de la formación de la biocapa, la permeabilidad disminuye, lo que aumenta el tiempo de retención del agua dentro del espacio vacío. Esto aumenta la oportunidad de capturar sólidos suspendidos y patógenos mediante la captura mecánica y la extinción. Luego, a través de la adsorción y la unión, aumenta el grosor de la biocapa que juega un papel crucial en la reducción de la población de coliformes. Al final ayuda a la eliminación de Coliformes total y E. Coli en un 99,6%. (Mulugeta, et al., 2020).

**\*Eliminación mediante sistemas hidropónicos:** Este es un método biológico que preservan la microflora natural que influye en el logro de mayores eliminaciones de patógenos, hasta un 92.77% de los coliformes fecales y totales del afluente. mediante dos mecanismos que ayudan a la reducción de la población microbiana en el sistema hidropónico. La primera fue la filtración durante este proceso, la arena debajo del lecho de grava actuó como un biofiltro donde filtraba los microorganismos y resultaba en su eliminación. El segundo fue a través de la antibiosis, un proceso en el que los microorganismos interactúan biológicamente entre sí de una manera que se perjudica entre sí. La antibiosis hizo que los microorganismos se dañen entre sí, lo que resultó en su reducción del agua. (Ndulini, et al., 2018).

proceso en el que los microorganismos interactúan biológicamente entre sí de una manera que se perjudica entre sí. La antibiosis hizo que los microorganismos se dañen entre sí, lo que resultó en su reducción del agua. (Ndulini, et al., 2018).

Según la Tabla 51, para el caso de la turbiedad la solución sostenible es un coagulante natural,

este se sugiere aplicar sobre los cuerpos de agua de la Quebrada La Grande en la estación de



monitoreo P3 (La Carpintería) y Río Gachaneca en la en la estación de monitoreo P5 (Intersección puente Samacá). Para el caso de la conductividad eléctrica la solución sostenible es mediante la extracción por solvente con oscilación de temperaturas, la cual se deberá implementar sobre el cuerpo de agua de la Quebrada La Grande en la estación de monitoreo P3 (La Carpintería). Para el caso del Ph la solución sostenible es mediante el tratamiento activo, el cual se deberá implementar en los cuerpos de agua Quebrada La Grande en la estación de monitoreo P1 (Río Gachaneca) y P3 (La Carpintería), Quebrada Tintoque en la estación de monitoreo P2 (E. Acerías), Río Gachaneca en la estación de monitoreo P5 (Intersección puente Samacá) y en la unión salida de la cuenca Gachaneca en la estación de monitoreo P6 (Intersección vía principal). Para el caso del DQO la solución sostenible es mediante sistema de hidropónico, el cual se deberá implementar en los cuerpos de agua Quebrada Pataguay en la estación de monitoreo P4 (E. GFC) y en la unión salida de la cuenca Gachaneca en la estación de monitoreo P6 (Intersección vía principal). Para el caso de coliforme total y Escherichia Coli se puede implementar tanto la solución sostenible mediante filtro de arena o sistemas hidropónicos, teniendo en cuenta que esta última solución también nos ayuda a normalizar la disminución del oxígeno disuelto, estas soluciones se pueden implementar en todos los cuerpos de aguas de la cuenca del Río Gachaneca, ya que en todos los puntos de monitoreo los valores están por encima a los límites permisibles para las dos temporadas hidroclimáticas.

Cabe recordar que según la información bibliográfica recolectada por la Asociación de usuarios del distrito de adecuación de tierras – ASUSA, solo tres de los 54 acueductos cuentan con planta de tratamiento de agua y solo dos de los 54 acueductos no han realizado estudios de calidad de agua. Por tal motivo, se sugiere a las empresas mineras, industriales y agrícolas que antes de realizar los vertimientos a los cuerpos de agua, se debe implementar sistemas de tratamiento que involucren las alternativas sostenibles anteriormente propuestas, teniendo en cuenta los diferentes casos.



## 8. CONCLUSIONES

- De acuerdo con la caracterización y esquematización de la cuenca del Río Gachaneca, se logró ubicar espacialmente los centros urbanos y canales de riesgo, así como el uso del suelo y las actividades socioeconómicas que desarrollan las diferentes poblaciones. Teniendo en cuenta la información suministrada por ASUSA y la información contenida en el EOT, se identificaron los puntos de acueducto, los puntos de extracción de agua industrial y para uso de riego y los puntos de vertimiento de aguas industriales y residuales. Por otra parte, se logró definir la red hidrológica presente para definir las zonas críticas y los puntos de monitoreo más representativos para el análisis de la evaluación de calidad del agua en la cuenca del Río Gachaneca, donde se priorizaron 16 estaciones de monitoreo según las diferentes actividades económicas.
- El recurso hídrico superficial guarda relación con las actividades antrópicas que se adelantan en el Municipio de Samacá por donde trascurren y localizan los ríos y quebradas pertenecientes a la cuenca del Río Gachaneca. La calidad de los cuerpos de agua se ve afectada por descargas de aguas residuales, situación que repercute en la disponibilidad del agua para usos diferentes al que históricamente se ha dado. En general, en cuanto al ICA, IRCA e ICO, se concluye que las estaciones de monitoreo presentaron cambios significativos entre los dos períodos climatológicos, ya que la calidad del agua pasaba de ser buena a moderada en época de verano a llegar a moderada a muy mala en época de invierno, mostrando así características propias tanto a nivel biológico como fisicoquímico. Estos datos se corroboraron con los índices BMWP/COL, ABI y ASPT, los cuales indicaron que en la cuenca se presentan aguas contaminadas críticas a muy críticas en las seis estaciones, estos índices pueden estar relacionado con las características geomorfológicas, sustrato y por las actividades antropogénicas, tales como; actividad agrícola, vertimiento de efluentes y presencia de residuos sólidos.



Las diferentes comunidades de macroinvertebrados presentes en la cuenca están correlacionados con diferentes parámetros fisicoquímicos, es el caso del OD, el cual presento para la época de verano en la estación P4 (Empresa GFC) 32.4 % de OD - 1495.6 Ind/m<sup>2</sup> y para P1 (R. Gachaneca) 68.3% de OD - 163.33 Ind/m<sup>2</sup>; para la época de invierno se evidencio en la estación P5 (Intersección Puente) 56.5% OD - 2600 Ind/m<sup>2</sup> y P1 (R. Gachaneca) 114.1% de OD – 677.76 Ind/m<sup>2</sup>; El OD es un parámetro fundamental ya que su concentración determina las especies que, de acuerdo a su tolerancia y rango de adaptación, pueden sobrevivir en un determinado cuerpo de agua (Sierra, 2011). Teniendo en cuenta lo anterior, se analizó que entre menor es el %OD en el afluente mayor es la abundancia de la especie de macroinvertebrados en la estación monitoreada, esta disminución afecta a los macroinvertebrados acuático, evidenciando cambios en su estructura y composición; sin embargo, algunas poblaciones son más tolerantes que otras a dicho cambio (Naranjo-López y López-del Castillo, 2013). En la estación P4 (Empresa GFC) presenta la familia de la Hyallela mayor abundancia con 1465.6 Ind/m<sup>2</sup> y en el sitio P5 (Intersección Puente) se presentó la familia de los Chironominae la mayor abundancia con 2500 Ind/m<sup>2</sup>. Otro caso similar se presentó en el Municipio de Villapinzón donde las concentraciones de oxígeno disuelto son altas (8,50 mg/l) favoreciendo la abundancia de las familias como Simuliidae y Leptoceridae (Domínguez y Fernández, 2009) características de aguas limpias (Roldán, 2003), como se presenta en la estación P1 (R. Gachaneca) 114.1% de OD – 677.76 Ind/m<sup>2</sup>, de los cuales corresponde el 44.44 Ind/m<sup>2</sup> de la familia de Leptoceridae.

Se evidencio que entre el Ph sea más ácido, algunas familias de macroinvertebrados tienden a desaparecer, como es el caso del orden de las Diptera, que en la estación P3 (Carpintería) para la época de verano presento un Ph de 5.15 y 7.77 Ind/m<sup>2</sup> y para la época de invierno presento pH de 2.9 y 0 Ind/m<sup>2</sup>. Estoy de acuerdo con Galindo – Pérez et al., (2017), en donde consideran que, al disminuir el pH, se ve amenazada las familias de caracoles, bivalvos, almejas, dáfnidos, efemerópteros y dípteros.



La conductividad y los sólidos disueltos arrojaron resultados similares en cada una de las estaciones en las dos épocas climatológicas, es considerable el pico que se presentó en la estación P3 (Carpintería), para la época de invierno, en donde presento una conductividad de 3540  $\mu\text{s/cm}$  y 3198 mg/l de SDT. de forma progresiva de aguas arriba hacia aguas abajo. Según Rodier, (1998), la relación que existe entre la mineralización y la conductividad es la siguiente: < 100  $\mu\text{s/cm}$  se considera mineralización muy débil; entre 100  $\mu\text{s/cm}$  y 200  $\mu\text{s/cm}$ , mineralización débil; entre 200  $\mu\text{s/cm}$  y 333  $\mu\text{s/cm}$ , mineralización media; entre 333  $\mu\text{s/cm}$  y 666  $\mu\text{s/cm}$ , mineralización media acentuada; entre 666  $\mu\text{s/cm}$  y 1000  $\mu\text{s/cm}$ , mineralización importante; finalmente una conductividad > 1000  $\mu\text{s/cm}$  se considera una mineralización elevada. Para el caso de la cuenca del Río Gachaneca se presentó para la estación P1 (R. Gachaneca) una mineralización muy débil, para la estación P3 (Carpintería), presento una mineralización elevada, para las demás estaciones presento una mineralización media acentuada en ambas épocas climatológicas.

En el transcurso de los afluentes de la cuenca del Río Gachaneca para la época de verano se presentaron las familias más abundantes como son Hyallela con 1465.6 Ind/m<sup>2</sup> y Chironominae 88.89 Ind/m<sup>2</sup>, para una abundancia total para esta época de 1821.1 Ind/m<sup>2</sup>; muy por el contrario, para la época de invierno donde se presentaron familias como los Chironominae 2500 Ind/m<sup>2</sup>, Tubificidae 655.56 Ind/m<sup>2</sup>, Glossphoniidae 288.89 Ind/m<sup>2</sup> y Dygesia 233.33 Ind/m<sup>2</sup>, para una abundancia total de 5488.9 Ind/m<sup>2</sup>. Según lo anterior difiero de los estudios de Jacobsen y Encalada, (1998) y González et al., (2013) quienes consideran que el número de organismos es más alto en época seca que en la época lluviosa.

Del orden Diptera el organismo más abundante fue el perteneciente a la familia de los Chironomidae en todas las estaciones de monitoreo; esta familia para la época de verano presento 154.44 Ind/m<sup>2</sup> y para la época de invierno 3033.3 Ind/m<sup>2</sup>. La importancia de esta identificación radica en que dicha familia puede relacionarse con la capacidad que tienen estos organismos para



sobrevivir en diferentes tipos de hábitats y tolerar ambientes enriquecidos de carga orgánica residual. Además, tienen algunas ventajas sobre otros macroinvertebrados, como la tolerancia a la presencia de materia orgánica y la alta disponibilidad de alimento (González et al., 2012). Lo anterior concuerda con lo arrojado por los índices de bioindicación BMWP/COL, ABI y ASPT, los cuales indicaron que en la cuenca se presentan aguas contaminadas críticas a muy críticas en las seis estaciones.

Actualmente existen muchos vacíos para la correcta utilización e implementación de los macroinvertebrado bentónicos, como menciona Álvarez (2005), al basarse solamente en el nivel taxonómico de familia, en unos pocos casos existen géneros dentro de una misma familia con un valor de indicación diferente, debido a que tienen representantes tanto de aguas limpias como de aguas con algún grado de contaminación. Los macroinvertebrado como bioindicadores de calidad del agua es un método rápido, sencilla y asequible para que la comunidad conozca las condiciones y el grado de contaminación del afluente de su área de influencia directa. Es importante que futuros autores avancen en investigaciones para que la línea de la identificación y riqueza taxonómica en cuanto a los órdenes, familia y genero cada vez sea más delgada y que la implementación de esta herramienta sea más común, ya que con ella se disminuye costos en cuanto a la evaluación de la calidad del agua.

- Para los acueductos municipales se pueden proponer alternativas sostenibles fáciles y de bajo costo, que son asequibles y que pueden mejorar significativamente la calidad del agua ofrecida a las comunidades. En el caso del municipio de Samacá donde se presentan distintas actividades antrópicas y que luego de realizar la evaluación integral desde el punto de vista físico, químico, microbiológico e hidrobiológico, se evidencio las afectaciones que estas actividades están causando a las diferentes fuentes hídricas del municipio. Es importante que las comunidades se empoderen de la información de la calidad del agua para así poder gestionar ante entes



gubernamentales como privados los sistemas alternativos sostenibles para el tratamiento de las aguas y esto repercute en salud pública. Por tal motivo, se sugiere a las empresas mineras, industriales y agrícolas que antes de realizar los vertimientos a los cuerpos de agua, se debe implementar sistemas de tratamiento que involucren las alternativas sostenibles anteriormente propuestas, teniendo en cuenta los diferentes casos.



## 9. RECOMENDACIONES

- Según la evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del Río Gachaneca se recomienda que en todos los lugares de captación de los acueductos se deben reforestar de los sectores de roda y de influencia para conservar y proteger las rondas hídricas. Así mismo se debe considerar que en lo posible en todos los acueductos rurales se debe construir plantas de tratamiento de agua. Realizar jornadas de sensibilización para que los campesinos no usen agroquímicos cerca o en los nacederos y cerca de las fuentes de captación. Así mismo, que las diferentes empresas mineras se acojan a protocolos de sostenibilidad en las fuentes hídricas para mejorar la calidad del agua que es vertida en los diferentes cuerpos de agua presentes en la microcuenca.
- Se debe realizar estudios de macroinvertebrados bentónicos y la aplicación de los índices de biodiversidad y bióticos en las demás cuencas de la región de la provincia Centro y Departamento de Boyacá para enriquecer el listado de familias y géneros de la región, así como realizar estudios similares aguas abajo, para una mayor visión sobre el estado de la contaminación y su efecto con las diferentes actividades antrópicas.
- Al momento de utilizar el índice BMWP/Col es recomendable usar el índice ASPT como un complemento, ya que este último tiene en cuenta la cantidad de familias evaluadas y por lo tanto el resultado se aproxima a un valor más real de calidad.
- Es importante involucrar a la comunidad en la generación de planes estratégicos de modernización y mejora de la calidad del cuerpo de agua como los POMCA Invitando a la población a participar de forma activa en el cuidado y conservación de la microcuenca; realizando



socialización de los resultados con esta población, identificando alternativas viables que generen, conciencia en cuanto a la reducción del consumo de agua; resaltando así, la importancia que tiene este recurso en las actividades económicas, preparación de alimento y limpieza de la población. Finalmente es importante sensibilizar a la comunidad para que apoyen el monitoreo del recurso, observando y reportando cambios que puedan ayudar a identificar problemas o irregularidades en la microcuenca y su entorno; el manejo del paisaje puede aportar a la preservación de la cantidad de agua, además de generar conciencia en reducir consumo.

- Es necesario el apoyo económico y las fuentes de financiamiento permanente y estable para cubrir los rubros de proyectos como estos, los cuales generan información que permite planear acciones que propenden por el cuidado de estos recursos, es por esta razón que se deben convocar a entidades estatales en la socialización de los resultados con la comunidad.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., Ríos, B, Rieradevall, M & Prat, N. (2009). *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú* (archivo PDF). Recuperado de [http://www.ub.edu/ríosandes/docs/Limnetica%2028\(1\)%2004%20Acosta.pdf](http://www.ub.edu/ríosandes/docs/Limnetica%2028(1)%2004%20Acosta.pdf).
- Álvarez, L & Roldán, G (1983). *Generador online. Estudio del Orden Hemiptera (Heteróptera) en el Departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales*. Retrieved from *Actualidades Biológicas* de <https://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/actbio/article/view/330315>.
- Arango, M, Álvarez, L. F, Alexandra Arango, G, Elí Torres, O, De, A, & Monsalve, J. (2008, julio). *Calidad Del Agua De Las Quebradas La Cristalina Y La Risaralda*. (archivo PDF). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n9/n9a10.pdf>.
- Álvarez A, Luis F. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/411727849/05-0424PS>.
- Aguirre N, Mario. (2011). *La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos*. *Revista virtual REDESMA*. (archivo PDF). Recuperado de [http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/cuencas\\_m\\_aguirre.pdf](http://www.siagua.org/sites/default/files/documentos/documentos/cuencas_m_aguirre.pdf).
- Alonso A y Camargo J.A. (2005). *Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates*. *Journal of Freshwater Ecology*. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02705060.2005.9664971>.



- Álvarez-Arango, Luisa. (2005). *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Recuperado de <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>.
- Alonso A y Camargo J, A. (2005). *Evaluating the effectiveness of five mineral artificial substrates for the sampling of benthic macroinvertebrates*. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02705060.2005.9664971>.
- Acosta, R, Ríos, B, Rieradevall, M y Prat, N. (2009). *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/277262531\\_Propuesta\\_de\\_un\\_protocolo\\_de\\_evaluacion\\_de\\_la\\_calidad\\_ecologica\\_de\\_rios\\_andinos\\_CERA\\_y\\_su\\_aplicacion\\_a\\_dos\\_cuencas\\_en\\_Ecuador\\_y\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/277262531_Propuesta_de_un_protocolo_de_evaluacion_de_la_calidad_ecologica_de_rios_andinos_CERA_y_su_aplicacion_a_dos_cuencas_en_Ecuador_y_Peru).
- Berezina, NA, *Tolerancia de Omisus caledonicus (Diptera: Chironomidae) a los cambios de salinidad, pH y composición iónica del agua*, *Ekologiya*, 1999, vol. 20, no. 1, págs. 67–69.
- Biología Aplicada, Ecology Ltda, Alberto Ramírez y Ecopetrol - ICP, (1993). Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831999000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008).
- BP Exploration - Ecotest, (1998). *Monitoreo limnológico de los sistemas acuáticos en el área de influencia de los bloques Tauramena*. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831999000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008).
- Boulton, A, J and Lake, P, S, (1990). "The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia". Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2427.1990.tb00313.x>.
- Boyacioglu. (2007). *Development of a water quality index based on a European classification scheme*. Recuperado de <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/47882>.



- Carrera C. y Fierro K. (2001). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua: Manual de monitoreo.* Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>.
- Chavarro A, G, & Gelves Bernal E, J. (2016). *Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo.* Recuperado de <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1148>.
- Carrera C y Fierro K (2001). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua: Manual de monitoreo, EcoCiencia.* (archivo PDF). Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>.
- Canter, L, (2002) *Manual de evaluación de impacto ambiental: técnica para la elaboración de estudios de impacto.* Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/manual-de-evaluacion-de-impacto-ambiental-tecnicas-para-la-elaboracion-de-estudios-de-impacto/oclc/920116929>.
- Cotler H, Garrido A, Bunge V y Cuevas M, L. (2010). *Las cuencas hidrográficas de México: Priorización y toma de decisiones. En: Las cuencas hidrográficas de México.* Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/280938710\\_Cuencas\\_hidrograficas\\_Fundamentos\\_y\\_perspectivas\\_para\\_su\\_manejo\\_y\\_gestion](https://www.researchgate.net/publication/280938710_Cuencas_hidrograficas_Fundamentos_y_perspectivas_para_su_manejo_y_gestion).
- CEPIS. (1979). *Guía para la evaluación de laboratorios Bacteriológicos de análisis de aguas.* (archivo PDF). Recuperado de <http://www.elaguapotable.com/manual%20analisis%20basicos%20CA.pdf>.
- Quintaco S, Damaris y Robayo R, Julieth. (2019). *Evaluación de la calidad del agua mediante el uso del índice de contaminación (ICOMO) y su relación con el índice biológico (BMWP/COL) en el caño seco, Restrepo Meta.* (archivo PDF). Recuperado de



<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18495/2019damariscuintaco.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.

Carrera, C y Fierro, K (2011). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua*. (archivo PDF). Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>.

Domínguez, E & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos*.

Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/260417584\\_Macroinvertebrados\\_bentonicos\\_Sudamericanos\\_Sistemica\\_y\\_Biologia](https://www.researchgate.net/publication/260417584_Macroinvertebrados_bentonicos_Sudamericanos_Sistemica_y_Biologia).

El-Shaarawi, A, H, Eliot, J R, Kwiatkowski, R, E, and Peirson, D, R, (1986). "Association of chlorophyl A with physical and chemical factors in Lake Ontario. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/317511077\\_INDICES\\_DE\\_CONTAMINACION\\_PARA\\_CHARACTERIZACION\\_DE\\_AGUAS\\_CONTINENTALES\\_Y\\_VERTIMIENTOS\\_FORMULACIONES](https://www.researchgate.net/publication/317511077_INDICES_DE_CONTAMINACION_PARA_CHARACTERIZACION_DE_AGUAS_CONTINENTALES_Y_VERTIMIENTOS_FORMULACIONES).

Escobar, N. (1989). *Estudio de las comunidades macrobentónicas en el río Manzanares y sus principales afluentes a su relación con la calidad del agua*, ISSN 0304-3584, *Actualidades Biológicas (Medellín)*, 18(65), 45-60.

Etter, A, y Villa, A (2000). *Andean Forests and Farming Systems in Part of the Eastern Cordillera (Colombia) Mountain*. (archivo PDF). Recuperado de [https://www.portalces.org/sites/default/files/references/141\\_Etter%20y%20Villa\\_2000.pdf](https://www.portalces.org/sites/default/files/references/141_Etter%20y%20Villa_2000.pdf).

Forero d, Julián. (2017). *Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta del Río Frío (Tabio, Cundinamarca)*. (archivo PDF). Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/34419>.



- FAO, (1992). *Manual de campo para las ordenaciones de Cuencas Hidrográficas*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/T0165S/T0165S00.HTM>.
- GWP, (2000, septiembre), Comité de Consejo Técnico (TAC) de la Asociación Mundial para el Agua (GWP). [archivo PDF]. Recuperado de <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-spanish.pdf>.
- Gil, A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del Río Garagoa*. (archivo PDF) Obtenido de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1803/tesisJAGG.pdf>.
- Gonzales, M, Ramírez, P, Meza, M & Días, L. (2012). *Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales*. obtenido de *diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales*. (archivo PDF) Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a12.pdf>.
- Gracia R, Jeniffer P. (2019). *Análisis espacial y temporal del componente hidrobiológico de la Quebrada Las Delicias, cerros orientales de Bogotá D.C.* (archivo PDF). Recuperado de [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15079/1/2019%20Hidrobiologicos\\_Calidad\\_Cerros%20orientales-.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15079/1/2019%20Hidrobiologicos_Calidad_Cerros%20orientales-.pdf).
- George, J., Viña, G., Ramírez, A. y Mojica, J. I., 1991. *Manual de métodos de monitoreo biológico con aplicación en la industria del petróleo. Componente acuático*, Ecopetrol, Bogotá.
- HADDAD, E. (2007, julio). *Influências antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio São Miguel, Carste do alto São Francisco*. (archivo PDF). Recuperado de <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2010v25n49p79>



- Hawkes, H, A. (1997). *Origin and development of the Biological Monitoring Working Party score system.* Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135497002753>.
- HIGIENE AMBIENTAL. (2020). *Criterios para la toma de muestras de agua de consumo.* Recuperado de <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/criterios-para-la-toma-de-muestras-de-agua-de-consumo>.
- Hernández, A A, (2009). *Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana.* Recuperado de <http://www.revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/70/453>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales (IDEAM). (2020). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/acreditacion>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales (IDEAM). (2017). (archivo PDF). *Protocolo de monitoreo del agua.* [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO MONITO REO AGUA IDEAM.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO_MONITO_REO_AGUA_IDEAM.pdf).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales (IDEAM). (2020). *Sistema de Indicadores Hídricos.* Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>.
- Johnston, C, A, Detenbeck, N, E, and Niemi, G, J. (1990). "The cumulative effect of wetlands on stream water quality and quantity." Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00002226>.
- Jiménez, M, A. (2006). *Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. Avances en recursos hidráulicos.* Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9331>.



- Jauregui A. Daysi Y. (2019). *Determinación de la calidad del agua empleando macroinvertebrados bentónicos y parámetros fisicoquímicos en el Río Sendamal, Celendin.* (archivo PDF). Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3299>.
- Karpevich, AF, *Tolerancia de peces e invertebrados a las fluctuaciones de la salinidad ambiental y métodos para su determinación, Tr. Karadagskoi Biol. Stantsii* , 1960, vol. 16, págs. 86-131.
- Khlebovich, VV, *Kriticheskaya solenost 'biologicheskikh protsessov (Salinidad crítica para procesos biológicos)*, Leningrado: Nauka, 1974.
- Klemm, D. J., Lewis, P. A., Fulk, F., & Lazorchak, J. M. (1990). *Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the biological integrity of surface waters.* EPA/600/4-90/030. USA: US Environmental Protection Agency.
- Lilia A. *Curso básico de toxicología ambiental. 2da Edit. Cap. 9. Cadmio.* Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/curso-basico-de-toxicologia-ambiental/oclc/956669690>.
- Lievano, A. (2007). *Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del Río Bahamon.* Recuperado de [https://books.google.com.co/books/about/Gu%C3%ADa\\_ilustrada\\_de\\_los\\_macroinvertebrado.html?id=eZBPwAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Gu%C3%ADa_ilustrada_de_los_macroinvertebrado.html?id=eZBPwAACAAJ&redir_esc=y).
- Lampert W, Sommer U. (1999). *Limnoecology, the ecology of lakes and streams.* (archivo PDF). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/249282428\\_Limnoecology\\_The\\_Ecology\\_of\\_Lakes\\_and\\_Streams](https://www.researchgate.net/publication/249282428_Limnoecology_The_Ecology_of_Lakes_and_Streams).
- MacCarthy Joe y Sánchez Erica. (2019, Mayo 9). *Científico encontraron una forma "radical" de eliminar la sal del agua potable.* Agua y Saneamiento. Global Citizen de <https://www.globalcitizen.org/es/content/new-desalination-technique-breakthrough/>



Magurran, A, E. (1988) *Ecological Diversity and Its Measurement.*

<http://dx.doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>.

Mara P. (1974). *Bacteriology For Sanitary Ingeniers.* Recuperado de

<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/146642407509500526>.

Margalef, R. (1983). *Limnología.* Recuperado de

[https://scholar.google.com.co/scholar?q=Margalef,+R,+1983.+Limnolog%C3%ADa&hl=es&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com.co/scholar?q=Margalef,+R,+1983.+Limnolog%C3%ADa&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar).

Martínez, B & Gil, M. (2014). *El río: un tema cotidiano para el aula de ciencias. Revista Enseñanza de Las Ciencias.* Recuperado de

<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/298944>.

Mathews, R, A, Matheus, G, B and Ehinger, W, J, (1991). "Classification and ordination of limnological data. (archivo PDF). Recuperado de

<https://core.ac.uk/download/pdf/228601772.pdf>.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2015) *Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residual no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.* (archivo PDF). Recuperado de

<http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/documentos/DS-001-2015-VIVIENDA.pdf>.

Montoya-Grisales S. (2016). *Macroinvertebrados como una herramienta tecnológica para la bioindicación de agua en Colombia (Trabajo de grado).* Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Florencia, Colombia.

Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad.* (archivo PDF). Recuperado de

<http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>.

Norma Técnica Peruana NTP 214.042 (2012). *Calidad de agua. Clasificación de la matriz agua para ensayo de laboratorio.* (archivo PDF). Recuperado de





- Ocena – Ecotest. (1997). *Monitoreo fisicoquímico y biológico de los cursos lóticos en el área de influencia del oleoducto Cusiana – Coveñas*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/391802461/Indice-de-contaminacion-Agua-pdf>.
- Olmos, R, R, (2003) *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. Tercera ed. México. Recuperado de <https://www.plazayvaldes.es/libro/el-agua-en-el-medio-ambiente-muestreo-y-analisis>.
- Orjuela L. (2013). *Hoja metodológica del indicador Demanda Bioquímica de Oxígeno en las masas de agua por estación*. (archivo PDF). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/V3.07+HM+Promedio+DBO+.pdf/77e9486f-afcb-4d62-8fd6-f1081dd50ca4>.
- Orozco C, Pérez A, González M, Rodríguez F, Alfayate J. (2003). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Thompson Ed. Madrid; 151 p.
- Peña, M, Sarmiento, F, Rodríguez, M & Porras, S. (2014). *Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña*. Obtenido de <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/659>.
- Patiño, G. (2015). *Evaluación de la calidad del agua por medio de bioindicadores macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Vieja*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.04.023>.
- Patiño, P, J, Cruz, C, H y Torres, P, (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano*. (archivo PDF). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>.
- Quiroz, J., P. Dueñas y J. Ballesteros. (2010). *Macroinvertebrados asociados a las raíces de Eichhornia crassipes (Mart).Solms, en dos sectores del complejo cenagoso del Bajo Sinú, departamento de Córdoba, Colombia, ISSN: ISSN 25007459, Revista Asociación Colombiana Ciencias biológicas, 22, 147-57*.



- Rojas O. (2012). *Índices de calidad de agua en fuente de captación. Semanario internaciones sobre calidad de agua para consumo.* (archivo PDF). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/750/75017199010.pdf>.
- Ramírez, A, Restrepo, R, & Viña, G (1997). *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación.* Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831997000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009).
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.* Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/guia-para-el-estudio-de-los-macroinvertebrados-acuaticos-del-departamento-de-antioquia/oclc/318132206>.
- Roldan, G. (2003). *La historia de los sistemas de bioindicación. En Bioindicación de la calidad del agua en Colombia.* Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/bioindicacion-de-la-calidad-del-agua-en-colombia-propuesta-para-el-uso-del-metodo-bmwp-col/oclc/777320536>.
- Roldan, G. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua.* (archivo PDF). Obtenido de <http://www.ianas.com/docs/books/wbp12.pdf>.
- Roldan, G. (2016). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica.* (archivo PDF). Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n155/v40n155a07.pdf>.
- Ramos-ortega, Lina maría, & Vidal, Luis a., & Vilardy q, Sandra, & Saavedra Díaz, Lina (2008). *Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de santa marta, caribe colombiano.* *Acta Biológica Colombiana*, 13(3),87-98.[fecha de Consulta 13 de Diciembre de 2020]. ISSN: 0120-548X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3190/319028004007>



- Ramos R, Yamiles A. (2017). *Composición y roles tróficos de la comunidad de macroinvertebrados en el Río Muincha Turmeque – Boyacá*. Recuperado de <https://revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/144>.
- Ramírez, A, (1988). *Lineamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10790>.
- Ramírez, A, Restrepo, R.y Viña, G, (1997). "Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Recuperado de [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home\\_10/recursos/general/pag\\_c\\_ontenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo4.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_c_ontenido/libros/06082010/icatest_capitulo4.pdf).
- Ramírez, A. y G. Viña. (1998). *Limnología colombiana. Aportes a su conocimiento y estadística de análisis*. Bogotá: BP Exploration Company-Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano; 250 p.
- Roldán, G. (2009). *Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos*. *Actualidades Biológicas*. (archivo PDF). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v31n91/v31n91a9.pdf>.
- Selamawit Mulugeta, Brigitte Helmreich, Jörg E. Drewes, Agizew Nigussie. (2020). *Consequences of fluctuating depth of filter media on coliform removal performance and effluent reuse opportunities of a bio-sand filter in municipal wastewater treatment*, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104135>.
- S.F. Ndulini, G.M. Sithole, M.S. Mthembu. (2018). *Investigation of nutrients and faecal coliforms removal in wastewater using a hydroponic system*, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.05.004>.



- Simoneau, M., 1986. "Spatial variability in the water quality of Québec Rivers", in: *Statistical aspects of water quality monitoring*, A.H. El-Shaarawi and R.E. Kwiatkowski (Eds.), ps. 117 - 135. Elsevier, Amsterdam..
- Sistema de información ambiental de Colombia (SIAC).2020. Recuperado de <http://www.siac.gov.co/monitoreo>.
- Segnini, S y Chacón, M. (2005). *Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de los ríos andinos en la cordillera de Merida*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/262854695\\_2005\\_Caracterizacion\\_fisicoquimica\\_del\\_habitat\\_interno\\_y\\_ribereno\\_de\\_rios\\_andinos\\_en\\_la\\_Cordillera\\_de\\_Merida\\_Venezuela](https://www.researchgate.net/publication/262854695_2005_Caracterizacion_fisicoquimica_del_habitat_interno_y_ribereno_de_rios_andinos_en_la_Cordillera_de_Merida_Venezuela).
- Sierra CA. (2011). *Calidad del Agua. Evaluación y diagnóstico* Universidad de Medellín; 457 p.
- Silva. (2008). *Manual de monitoreo del agua para el investigador local*. IAVH. Recuperado de <http://www.humboldt.org.co/es/noticias/zona-prensa/item/337-manual-de-monitoreo-del-agua-para-el-investigador-local>.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET. (2007). *Índice de calidad de agua General "ICA" en Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Disponible en <https://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00119/doc00119.htm>.
- Sierra, C. A, (2011) *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Universidad de Medellín. Recuperado de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568>.
- Torres-Zambrano, N, N & Torres-Zambrano, D, R. (2016). *Macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Los Alisos, Firavitoba - Boyacá*. Recuperado a partir de <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/1860>.
- TORRES BERISTÁIN, Beatriz, GONZÁLEZ LÓPEZ, Gloria, RUSTRIÁN PORTILLA, Elena, & HOUBRON, Eric. (2013, agosto). *Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México*. Recuperado de



[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992013000300001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300001).

Tejero, I, Suárez, J, Jácome, A, Temprano, J y García, C, (2001) Problemas de ingeniería sanitaria y ambiental. (archivo PDF). Recuperado de [http://caminos.udc.es/docencia/archivos/planes\\_estudio/ingenieria\\_caminos/cuarto/402IA.pdf](http://caminos.udc.es/docencia/archivos/planes_estudio/ingenieria_caminos/cuarto/402IA.pdf).

Vara Saritha, Manoj Kumar Karnena, Bhavya Kavitha Dwarapureddi, “Exploring natural coagulants as impending alternatives towards sustainable water clarification” – A comparative studies of natural coagulants with alum, *Journal of Water Process Engineering*, Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100982>.

Vásquez, M y Medina, C. (2014). Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca. Recuperado de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/1079>.

Vera-Sánchez, D & Pinilla-Agudelo, G. (2020). Aproximación preliminar a un índice multimétrico de macroinvertebrados (IMARBO) para evaluar el estado ecológico de ríos de las cuencas alta y media del río Chicamocha en Boyacá, Colombia. Recuperado de <https://doi.org/10.15446/ga.v23n1.83792>.

Villareal, H, M, Álvarez, M, Córdoba-Córdoba, S, Escobar, F, Fagua, G, Gast, F & Umaña, A, M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. (archivo PDF). Recuperado de <https://sib.gob.ar/archivos/IAVH-00288.pdf>.

Vinogradov, GA y Shobanov, NA, Características específicas del metabolismo del sodio en larvas de *Chironomus* a diferentes valores de salinidad ambiental y pH, *Zh. Evol. Biokhim. Fiziol.*, 1990, vol. 26, no. 3, págs. 308-314.



- Viña, G, Ramírez, A, Lamprea, L, Garzón, B, Schmidt-Mumm, U, Rondón y E, Flores, C, (1991). *Ecología de la ciénaga de Zapatosa y su relación con un derrame de petróleo*. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/421>.
- VonHessberg H, Toro D, Grajales-Quintero A, Duque-Quintero, Uribe L, (2009). *Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio Palestina, Colombia*. (archivo PDF). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v13n2/v13n2a06.pdf>.
- Weirauch, C. y R. Schuh. (2011). *Systematics and Evolution of Heteroptera: 25 Years of Progress*, doi: 10.1146/annurev-ento120709-144833, *Annual Review of Entomology*, 56, 487-510.
- Yeina Milena Niño Fernández, Karen Lizeth Pulido Herrera, Alcibiades Escárraga Saavedra, Ángela J. M. D. (2012). *VARIACIÓN ESPACIAL EN LA ESTRUCTURA Y GRUPOS FUNCIONALES DE LOS MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA QUEBRADA LA CHAPA, SANTANA, BOYACÁ*. Recuperado de [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia\\_en\\_desarrollo/article/view/281](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/281).
- Zúñiga, C. (2013). *Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental*. Recuperado de <https://limnologiauniquindio.files.wordpress.com/2012/08/bmwp-valle-zc3bac3b1iga-m-2009-capitulo-7-bioindicadores-de-calidad-de-agua-y-caudal-ambiental.pdf>.
- Zamora-Muñoz, C, & Alba-Tercedor, J. (1996). *Bioassessment of organically polluted Spanish rivers, using a biotic index and multivariate methods*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/271515641\\_Bioassessment\\_of\\_Organically\\_Polluted\\_Spanish\\_Rivers\\_Using\\_a\\_Biotic\\_Index\\_and\\_Multivariate\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/271515641_Bioassessment_of_Organically_Polluted_Spanish_Rivers_Using_a_Biotic_Index_and_Multivariate_Methods).



# ANEXOS