

Evaluación de la Calidad Biológica, Fisicoquímica y Microbiológica de la Quebrada
Casiquilla (Gachantivá, Boyacá)

Mónica Yeraldin Vera Acevedo
Laura Ximena Sánchez Mancipe

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Tunja
2021

Evaluación de la Calidad Biológica, Fisicoquímica y Microbiológica de la Quebrada
Casiquilla (Gachantivá, Boyacá)

Mónica Yeraldin Vera Acevedo
Laura Ximena Sánchez Mancipe

Trabajo de Semillero de Investigación EARTH para optar al Título de Ingeniera ambiental

Directora

Andrea Angélica Bernal Figueroa
Bióloga, Magíster en Ingeniería Ambiental

Codirectora

Zulma Edelmira Rocha Gil
Bióloga, Magíster en Ciencias Ambientales

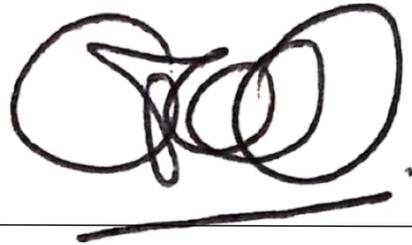
Universidad De Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental

Tunja

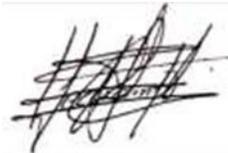
2021

Nota de aceptación

Las estudiantes Mónica Yeraldin Vera Acevedo y Laura Ximena Sánchez Mancipe, realizaron la alternativa de grado en el semillero de investigación Earth, con el proyecto titulado: “Evaluación de la calidad biológica, fisicoquímica y microbiológica de la quebrada Casiquilla (Gachantivá, Boyacá)” obteniendo una nota de aprobación de cuatro punto tres (4.3)

A large, stylized handwritten signature consisting of several overlapping loops and a horizontal line at the bottom.

Firma Presidente del Jurado

A handwritten signature consisting of several overlapping, somewhat chaotic strokes.

Firma del Jurado

A handwritten signature consisting of a vertical line with several horizontal strokes and a loop at the top.

Firma del Jurado

Tunja, 16 de Junio de 2021

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

"Únicamente el graduando es responsable de las ideas expuestas en el presente trabajo".
(Universidad de Boyacá. Acuerdo 958 del 30 de marzo de 2017, Artículo décimo primero).

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

Dedico este trabajo al forjador de mi camino, a mi padre celestial por otorgarme sabiduría en cada día de mi vida a lo largo de todo mi proceso de formación.

Con todo mi cariño y amor a mis padres Temilda y Pedro quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir una meta más, por su apoyo incondicional y por sus consejos, porque con ellos han logrado hacer de mí una mejor persona.

A Carlos Andrés Muñoz, mi compañero de vida, por sus palabras de aliento y confianza, por su gran amor y por haberme brindado el tiempo necesario cada día de su vida para culminar este tan anhelado proyecto.

A mis familiares y amigos por sus valiosos gestos de generosidad y compañía durante este recorrido, por las experiencias y por motivarme día a día a llegar al éxito.

Laura Ximena Sánchez Mancipe

A mi padre Juan Carlos, por sus sabias palabras y consejos, por su paciencia, guía y enseñanza que me han convertido en la persona que soy ahora.

A mi madre Olga Mireya, por brindarme sus cálidas palabras de aliento cuando las necesito, por su apoyo moral incondicional.

A mi hermano Carlos Alberto, por sus buenos deseos y apoyo emocional.

Mónica Yeraldin Vera Acevedo

Agradecimientos

A la Universidad de Boyacá, institución que nos brindó a través del programa de Ingeniería Ambiental la posibilidad de formarnos moral y profesionalmente con el apoyo y acompañamiento de toda su planta docente, así como a las personas que fueron partícipes de este proceso con su experiencia y profesionalismo durante este proceso académico.

A nuestras asesoras Zulma Edelmira Rocha y Andrea Angélica Bernal, quienes con su apoyo dedicación y excelente asesoría a lo largo del desarrollo de esta investigación nos brindaron los conocimientos y bases necesarias para su correcto desarrollo.

Contenido

	Pág.
Introducción	16
Comunidades de Macroinvertebrados y Propiedades Fisicoquímicas y Microbiológicas de la Quebrada Casiquilla	18
Descripción del área de estudio.....	18
Localización puntos de monitoreo	19
Identificación de comunidades de macroinvertebrados acuáticos	22
Análisis de variables físicas, químicas y microbiológicas para el establecimiento de la calidad del agua.....	26
Temperatura hídrica.....	29
Oxígeno disuelto (OD).....	29
pH y alcalinidad.....	31
Dureza total	33
Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales	34
Nitritos y nitratos	35
Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅)	36
Coliformes totales.....	37
Fósforo total	38
Índices Biológicos y de Contaminación para el Establecimiento de la Calidad del Agua de la Quebrada Casiquilla	40
Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party).....	40
Índices de contaminación del agua (ICO's) para el análisis de la calidad del agua.....	46
Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	48
Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).	49

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

Índice de contaminación por pH (ICOpH).....	51
Índice de contaminación por eutrofización (ICOTRO).	51
Conclusiones	53
Recomendaciones.....	55
Referencias Bibliográficas.....	56
Anexos	64

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas planas de los dos puntos de muestreo estudiadas en la quebrada Casiquilla, Gachantivá.....	21
Tabla 2. Número de taxones encontradas por punto de muestreo (P1: Punto 1, P2: Punto 2) para distintos meses del año.....	22
Tabla 3. Cantidad de organismos hallados por familias para el orden Díptera	24
Tabla 4. Datos de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y caudal en los dos puntos de muestreo analizados	27
Tabla 5. Dióxido de carbono en estado libre, presente en los puntos de muestreo (P1: Punto 1, P2: Punto 2).....	33
Tabla 6. Concentración de dureza permanente y no permanente en la quebrada Casiquilla para los puntos de muestreo analizados.....	34
Tabla 7. Clases de calidad de agua, valores de BMWP/Col significado y escala cromática por punto de monitoreo.....	41
Tabla 8. Ecuaciones para el cálculo de índices de contaminación	46
Tabla 9. Significancia de los índices de contaminación (ICO's).....	48
Tabla 10. Resultados del índice de contaminación por mineralización por puntos de monitoreo	49
Tabla 11. Resultado de contaminación con materia orgánica por puntos de monitoreo.....	50

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización: Municipio de Gachantivá	19
Figura 2. Localización puntos de muestreo en la quebrada Casiquilla (Gachantivá).....	20
Figura 3. Géneros representativos por punto muestreo en la quebrada Casiquilla (Gachantivá)	23
Figura 4. Porcentaje de organismos hallados por familias para el orden Díptera	24
Figura 5. Diagramas de caja de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los puntos de muestreo analizados	28
Figura 7. Datos de temperatura para los puntos de muestreo 1 y 2 en periodos de altas y bajas precipitaciones	29
Figura 6. Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en los puntos de muestreo analizados	30
Figura 7. Valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo analizados y su relación con la temperatura.....	31
Figura 8. Variación de pH en los puntos de muestreo analizados para periodos de altas y bajas precipitaciones	31
Figura 9. Valores de pH en los puntos de muestreo analizados en relación al aumento o disminución de la alcalinidad total	32
Figura 10. Valores de dureza total en los puntos de muestreo analizados	34
Figura 11. Valores de CE en los puntos de muestreo analizados en relación al aumento o disminución de SDT	35

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

Figura 12. Concentración de nitritos y nitratos en mg/L para los puntos de muestreo analizados	36
Figura 13. Concentración de DBO en mg/L para los puntos de muestreo analizados	37
Figura 14. Variación de la DBO en los puntos de muestreo analizados en relación al aumento o disminución de OD	37
Figura 15. Concentración de coliformes totales en los puntos de nuestro analizados.....	38
Figura 16. Concentración de fósforo total en los puntos de muestreo analizados.....	39
Figura 17. Efecto de la concentración de fósforo total sobre el oxígeno disuelto de la quebrada Casiquilla.....	39
Figura 18. Valor del índice BMWP/Col por punto de monitoreo para los meses de febrero y julio de 2016.....	42
Figura 19. Valor del índice BMWP/Col por punto de monitoreo para los meses de abril y octubre de 2016.....	44
Figura 20. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) por punto de monitoreo.....	49
Figura 21. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) por punto de monitoreo.....	50
Figura 22. Índice de contaminación por pH (ICOpH) por punto de monitoreo.....	51

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A. Anteproyecto.....	64
Anexo B. Certificados de participación en la semana de la investigación Universidad de Boyacá 2020.....	100

Glosario

Bioindicación: es una técnica empleada para la evaluación ambiental que permite la detección y control de la contaminación en un determinado ecosistema (Martínez y Chavarro, 2019).

Indicador biológico: se refiere al conjunto de organismos o comunidades de organismos que responden a un estímulo cambiando sus funciones vitales o acumulando toxinas. Son utilizados como instrumentos de medición que brindan información de la calidad del ambiente y sobre todo de las condiciones actuales de un organismo o ecosistema (Arndt & Schweizer como se citó en García et al., 2017).

Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP): el índice permite estimar la calidad de un ecosistema acuático a partir de la valoración de las especies acuáticas que habitan en el mismo; se atribuye a cada especie un valor determinado de acuerdo con su tolerancia a la contaminación que va de 1 a 10, de manera que las familias más tolerantes obtienen una menor puntuación que aquellas que requieren una mejor calidad de las aguas en que viven (Álvarez, 2005).

Índice Biológico: es una herramienta empleada para el control de la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos. Este índice es buen integrador de la calidad química de un determinado periodo de tiempo, como mínimo del necesario para desarrollar el ciclo biológico del organismo estudiado (Pinilla, 2000).

Índices de Contaminación (ICO): se agrupan en cuatro índices, dependiendo de las distintas variables a analizar. Estos determinan el grado de contaminación que existe en un cuerpo de agua superficial (corriente) y la manera de estimar el grado de polución es a través de valores entre 0-1, acorde con las concentraciones de las diferentes variables y el uso asignado al agua (Ramírez et al., 1997).

Macroinvertebrados acuáticos: se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500 μm , entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre los que se encuentran los cangrejos. Estos organismos son empleados como bioindicadores puesto que proporcionan información sobre la calidad del agua (Ladrera, 2012).

Monitoreo Hidrobiológico o Biomonitoreo: es el monitoreo que se realiza a un cuerpo de agua haciendo uso de diversos organismos, como animales, plantas o un conjunto de estos. El biomonitoreo consiste en identificar los cambios que ocurren en la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos como resultado de las alteraciones del ecosistema acuático en estudio (González, 2016).

Resumen

Sánchez Mancipe, Laura Ximena y Vera Acevedo, Mónica Yeraldin

Evaluación de la calidad biológica y fisicoquímica de la quebrada Casiquilla (Gachantivá, Boyacá) / Laura Ximena Sánchez Mancipe, Mónica Yeraldin Vera Acevedo. - - Tunja : Universidad de Boyacá, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2021.

100 p. : il. + 1 CD ROM. -- (Trabajo de Semillero de Investigación UB, Ingeniería Ambiental; n°)

Trabajo Semillero de Investigación Earth (Ingeniería Ambiental). - - Universidad de Boyacá, 2021.

El estudio presenta los resultados de la evaluación de la calidad biológica, fisicoquímica y microbiológica de la quebrada Casiquilla (Gachantivá, Boyacá), analizando las comunidades de macroinvertebrados, las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de la quebrada; y la aplicación de índices biológicos y de contaminación para el establecimiento de la calidad de este sistema hídrico.

Se desarrolló en el marco de una investigación de tipo descriptivo, con enfoque cuantitativo, puesto que se caracterizaron variables y posteriormente se evaluaron contrastando con condiciones de sistemas hídrico en condiciones ambientales similares al de la Quebrada Casiquilla.

Por otra parte, los resultados muestran una composición variada de macroinvertebrados acuáticos pertenecientes al orden Coleoptera y Díptera, estos se encuentran agrupados en 6 familias y 9 géneros. Los análisis mediante índices biológicos dejan ver que en periodo seco la calidad del agua es crítica y muy crítica, mientras que en periodo lluvioso la calidad es clasificada como dudosa y aceptable; por otro lado, los índices de contaminación muestran presencia de contaminación asociada a materia orgánica, mineralización y pH.

Se evidenció la importancia de integrar herramientas para la evaluación de la calidad de sistemas lóticos, que permitan establecer posibles afectaciones, y con ello favorecer el establecimiento de soluciones ambientalmente sostenibles.

Introducción

Los sistemas hídricos son considerados uno de los recursos naturales más importantes para la vida, sin embargo, en las últimas décadas han estado sometidos a fuertes presiones de explotación, cambios en el uso del suelo, densidad poblacional, tipos de asentamientos y actividades productivas y tecnológicas, factores que han contribuido al deterioro de las condiciones biológicas y fisicoquímicas llevando a una reducción sustancial de la biota acuática, y por ende a una alteración de la calidad de este invaluable recurso (Lara et al., como se citó en González et al., 2012).

A nivel mundial, particularmente en varios países de Sudamérica se ha presentado un creciente interés por conocer el estado ecológico de los cuerpos acuáticos, su composición, estructura, funcionalidad y evolución (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016). En Colombia, cuyo potencial hídrico es bastante elevado aún se presentan problemas en la disponibilidad de calidad de agua en muchas regiones, especialmente en las zonas con mayor número de habitantes, por ello, se han empleado múltiples metodologías para diagnosticar el estado actual de las cuencas hidrográficas a través de la integración de la aplicación de indicadores biológicos (macroinvertebrados), junto con análisis microbiológicos y fisicoquímicos, lo cual se convierte en una alternativa de monitoreo altamente efectiva para el control y buen uso del agua (Jaramillo, como se citó en Hahn-vonHessberg, 2009).

Dichos métodos de monitoreo para la evaluación de la calidad del agua, como los mencionados ensayos fisicoquímicos y bacteriológicos, presentan algunas limitaciones debido a que no permiten la evaluación de la variabilidad en el tiempo o la integración de distintos factores ambientales, esto principalmente en ecosistemas donde las condiciones geomorfológicas e hidrológicas cambian con rapidez (García et al., 2017). Por ello, el uso complementario a estos análisis fisicoquímicos con bioindicadores como macroinvertebrados acuáticos, ofrece como ventaja evaluar el estado ecológico en el que se encuentra un ecosistema acuático en un determinado momento, y adicionalmente observar su evolución en el tiempo; asimismo, estos organismos son considerados como los mejores bioindicadores de calidad, debido a sus características morfológicas, su amplia distribución, y su adaptación a diferentes variables físico-bióticas (Lozano, 2005). De igual manera, como parte de esta metodología se suma la aplicación de índices biológicos como el Índice Biological Monitoring Working Party

(BMWP/Col) adaptado para Colombia en el año 2003 por Gabriel Roldán, como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña, el cual, además de ser un método de evaluación de calidad ecológica y ambiental de las aguas, es considerado de aplicación rápida, eficaz, económica. Este método de puntuación simple, se emplea con macroinvertebrados acuáticos, los cuales se identifican taxonómicamente hasta el nivel de familia, y sólo requiere datos cualitativos (ausencia/presencia), puntuación que se obtiene mediante la suma individual de los puntajes de las familias de macroinvertebrados, teniendo en cuenta su tolerancia a los diferentes grados de contaminación (Quintero, 2004).

Por lo tanto, el objetivo del presente documento consistió en evaluar la calidad biológica y fisicoquímica de la quebrada Casiquilla ubicada en el municipio de Gachantivá en el departamento de Boyacá, teniendo en cuenta que este cuerpo hídrico ha sido afectado por múltiples vertimientos generados por asentamientos humanos en esta región. En este sentido, se evalúa de manera integral a través de dos capítulos el grado de deterioro de este recurso, es así que el primer capítulo da cuenta del análisis de las comunidades de macroinvertebrados presentes allí, así como las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, y el segundo capítulo evidencia la aplicación de índices biológicos como el BMWP/Col y de contaminación para el establecimiento de la calidad del agua de la quebrada. Así pues, este trabajo representa un aporte representativo para la zona de estudio, debido a que los estudios de calidad son escasos o inexistentes en este lugar; de igual manera, se espera que la información recopilada y analizada pueda ser utilizada en posteriores proyectos en la zona, o a nivel nacional.

**Comunidades de Macroinvertebrados y Propiedades Fisicoquímicas y Microbiológicas
de la Quebrada Casiquilla**

En el presente capítulo, se expone en primera medida una breve descripción de la zona de estudio teniendo en cuenta aspectos de altitud, pluviosidad y ubicación geográfica, así como la localización de los puntos de monitoreo y sus características. Por otro lado, se presentan las comunidades de macroinvertebrados acuáticos identificadas y clasificadas por orden, familia y género, dando a conocer las particularidades propias de cada familia, considerando además las identificadas por periodo pluviométrico. Posterior a ello, se hace un análisis de cada uno de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados, teniendo en cuenta la dependencia y relación existente entre estos y los factores ambientales con el sistema en estudio.

Descripción del área de estudio

El área de estudio se situó en el municipio de Gachantivá, el cual se encuentra ubicado en el departamento de Boyacá y pertenece a la provincia de Ricaurte (Figura 1). Su cabecera municipal se encuentra a 2.450 m.s.n.m., tiene una extensión aproximada de 66 km² y su temperatura promedio es de 15 °C, (Gobernación de Boyacá, 2013). Esta región se localiza en el flanco oriental de la cordillera oriental rodeada de características montañosas, además hace parte de la cuenca del río Suárez. La distribución espacial de las lluvias es bimodal de abundantes precipitaciones en dos periodos lluviosos: durante marzo-mayo y octubre-noviembre y dos periodos secos, entre diciembre y febrero y entre junio y septiembre, además la precipitación total media anual en el municipio corresponde a 1457.1 mm (Secretaría de Salud de Boyacá, 2013).

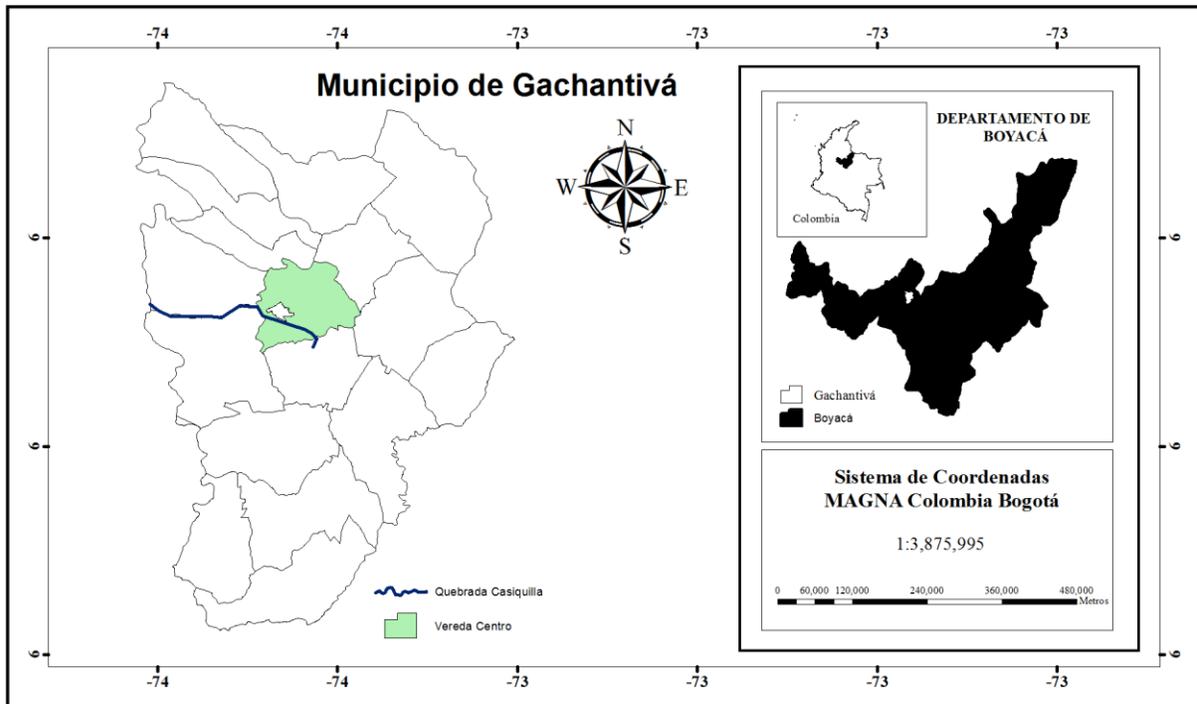


Figura 1. Localización: Municipio de Gachantivá. Fuente: Autores (2021).

Localización puntos de monitoreo

La Quebrada Casiquilla se encuentra en la cordillera oriental, la zona presenta una topografía ondulada con pendientes moderadas, además esta zona se caracteriza por presentar una buena cobertura vegetal (Alcaldía Municipio de Gachantivá, 2015). A lo largo de dicha quebrada, se establecieron 2 puntos de muestreo tal como se observa en la Figura 2, dichos puntos se ubican en la vereda Centro, cerca del casco urbano del municipio (Tabla 1).

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

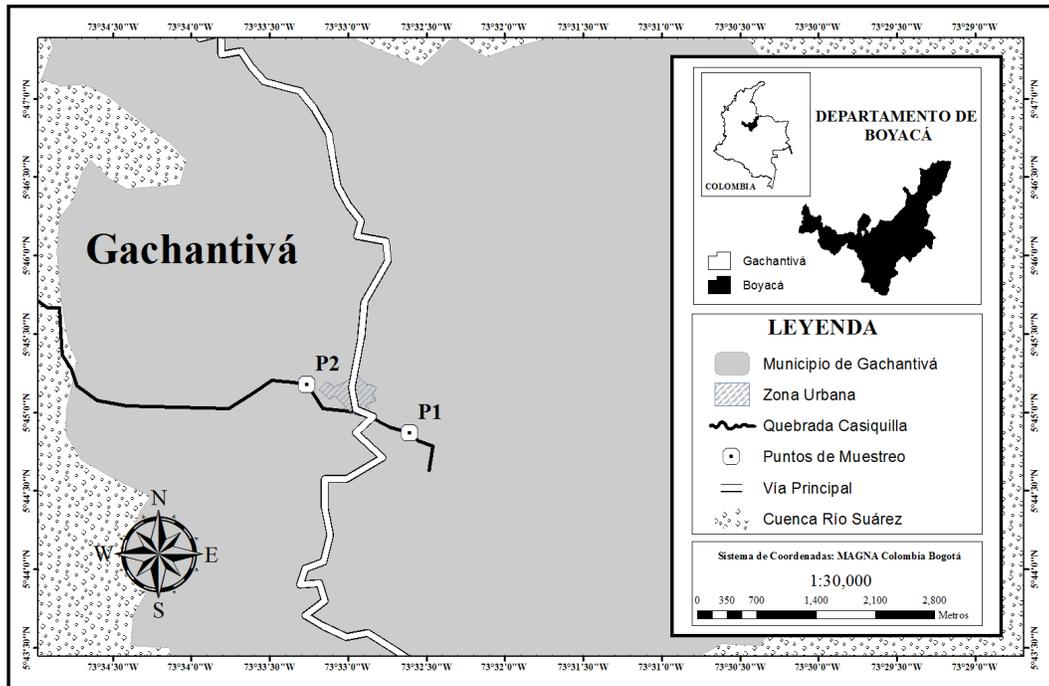


Figura 2. Localización puntos de muestreo en la quebrada Casiquilla (Gachantivá). Fuente: Autores (2021).

Tabla 1

Coordenadas planas de los dos puntos de muestreo estudiadas en la quebrada Casiquilla, Gachantivá

Puntos de muestreo	Características del sitio	Coordenadas planas		
		X	Y	Altitud (m.s.n.m.)
P1. Antes del municipio (Vereda Centro)	<ul style="list-style-type: none"> Ancho del cauce: 0.95 metros Presencia de vertimientos de viviendas Este punto de muestreo presenta mayor pendiente Presencia de vegetación acuática El sustrato se compone por sedimento y en menor proporción arenas gruesas, con alternancia de rápidos, coloración turbia del agua y aporte de material alóctono. 	1058760	1128325	2383
P2. Después del municipio y aguas abajo de los vertimientos de aguas residuales del municipio (Vereda Centro)	<ul style="list-style-type: none"> Ancho promedio: 1.05 metros Las aguas de este sistema hídrico son de tipo intermitente, esto debido al comportamiento pluviométrico de la zona. En cuanto a las propiedades físicas se evidenció presencia de color, un sustrato compuesto principalmente de rocas pequeñas y cantos y un flujo de corriente lento en donde se generan charcas 	1059436	1128284	2324

Fuente: Universidad de Boyacá (2016)

Identificación de comunidades de macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que proporcionan señales sobre la calidad del agua y habitan en distintos ecosistemas acuáticos de características heterogéneas, ya sea de tipo léntico o lótico. En el monitoreo de estos animales, se puede entender claramente el estado de la calidad del agua, teniendo en cuenta que algunos organismos requieren agua de buena calidad para sobrevivir, otros, en cambio, resisten, crecen y abundan en aguas de baja calidad, es decir, aguas contaminadas (Carrera y Fierro, 2001). Para evaluar la calidad de la quebrada Casiquilla como ecosistema acuático, se emplearon comunidades biológicas (macroinvertebrados), como indicadores del estado ambiental, esto porque reflejan las condiciones físicas, químicas y bióticas e integran y acumulan los efectos de diferentes presiones sobre este ecosistema natural (Barbour et al., como se citó en Rubio et al., 2012).

A continuación, en la Tabla 2 se evidencian las abundancias relativas totales de los taxones encontrados por punto de muestreo en la Quebrada Casiquilla y para distintos periodos pluviométricos a lo largo de un año, para los meses de febrero, abril julio y octubre de 2016.

Tabla 2

Número de taxones encontradas por punto de muestreo (P1: Punto 1, P2: Punto 2) para distintos meses del año

Periodo/ Punto de muestreo			Febrero- 2016		Abril- 2016		Julio- 2016		Octubre- 2016	
Orden	Familia	Género	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Coleoptera	Elmidae	<i>Heterelmis</i>	0	0	1	1	0	0	0	0
Coleoptera	Scirtidae	<i>Elodes</i>	0	2	0	0	0	0	0	0
Díptera	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	0	0	1	2	0	0	0	0
Díptera	Chironomidae	<i>Tanytarsiniie</i>	2	0	2	2	2	0	2	2
Díptera	Dolichopodidae	<i>Rhaphium</i>	0	0	3	1	0	0	2	3
Díptera	Simuliidae	<i>Araucnephioides</i>	0	0	0	0	2	1	0	4
Díptera	Simuliidae	<i>Simulium</i>	0	3	2	1	0	3	2	1
Díptera	Tipulidae	<i>Molophilus</i>	2	1	0	3	0	0	0	3
Díptera	Tipulidae	<i>Tipula</i>	1	2	5	2	1	2	5	2

Fuente: Universidad de Boyacá (2016)

La entomofauna acuática total estudiada durante 4 meses de muestreo en las dos estaciones,

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

fue de 76 individuos, de los cuales 24 corresponden al periodo seco y 52 al periodo lluvioso (35 individuos hallados en el punto 1 y 41 en el punto 2), es decir, la abundancia de estos organismos disminuye cuando la precipitación pluvial es baja y es significativa cuando esta se incrementa (Figura 3). Para el autor Donato (2008) los macroinvertebrados acuáticos se encuentran adheridos a diferentes tipos de sustratos y dependen de los cambios hidrológicos; ya que, el sistema lótico se encuentra bajo regímenes tanto de lluvia como de sequía lo cual genera patrones de distribución; siendo factores como la velocidad de la corriente y el caudal los que más pueden afectar a los macroinvertebrados, sin embargo, el hecho de que se presente mayor cantidad de estos organismos en periodo lluvioso se debe a que las comunidades han desarrollado adaptaciones morfológicas para enfrentarse a las variaciones de las corrientes y los cambios del caudal (Allan, como se citó en Donato, 2008).

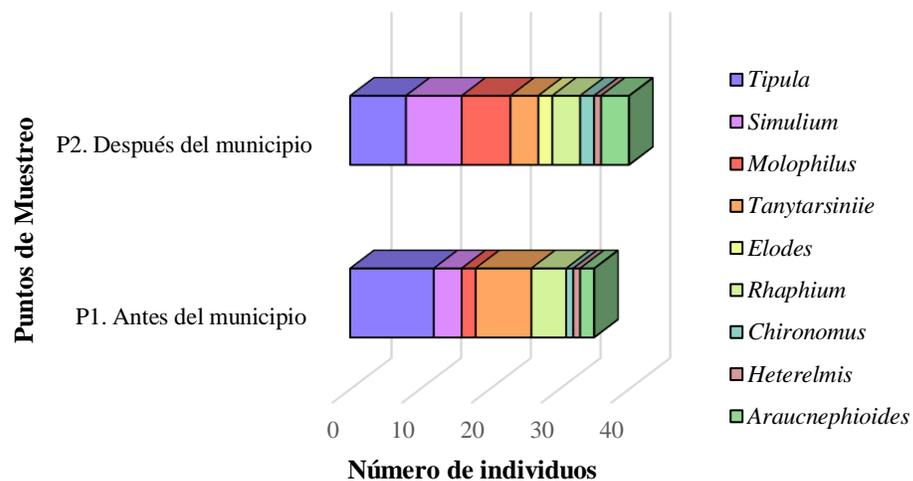


Figura 3. Géneros representativos por punto muestreo en la quebrada Casiquilla (Gachantivá).

Fuente: Autores (2021).

Así pues, en la zona de estudio, se identificaron dos órdenes (Díptera y Coleoptera), agrupados en seis familias (Tipulidae, Simuliidae, Chironomidae, Dolichopodidae, Scirtidae y Elmidae), con un total de nueve géneros (*Tipula*, *Simulium*, *Molophilus*, *Tanytarsiniie*, *Elodes*, *Rhabdium*, *Chironomus*, *Heterelmis* y *Araucnephioides*). Dichos organismos están distribuidos de la siguiente manera: Díptera, el orden que presentó la mayor variedad de géneros siete de los nueve hallados (*Tipula*, *Simulium*, *Molophilus*, *Tanytarsiniie*, *Rhabdium*, *Chironomus* y *Araucnephioides*) y cuatro familias de las seis encontradas (Tipulidae, Simuliidae,

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

Chironomidae y Dolichopodidae), cuenta también con la mayor abundancia de individuos (95%, 72 individuos), teniendo que el 44.86% (34 individuos) corresponden al muestreo realizado en el P1 y el 50.138% (38 individuos) al P2.

Los dípteros acuáticos constituyen uno de los órdenes de insectos más complejos, abundantes y ampliamente distribuidos en todo el mundo (Roldán, 1996). Existen representantes de aguas muy limpias (aunque puede presentarse algunos otros de aguas poco contaminadas) como la familia Simuliidae (para el estudio 25%, 19 individuos) como se muestra en la Figura 4, los cuales se adaptan a vivir en zonas con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, o representantes de aguas contaminadas adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones, e incluso en condiciones extremas (Ladrera, 2012) como tres de las familias restantes halladas en la quebrada: Tipulidae (38%, 29 individuos) la cual mostró incremento en el número de taxones con el aumento de la temperatura hídrica, concordando con lo consignado por Hahn-vonHessberg et al. (2009), Dolichopodidae (12%, nueve individuos) y Chironomidae (20%, 15 individuos), esta última constituye una parte importante de la biomasa tanto de ambientes lóticos como lénticos, además de jugar un papel determinante en los ciclos tróficos y el procesamiento de detritus (Ospina et al.; Paggi como se citaron en Roldán 2016).

Tabla 3

Cantidad de organismos hallados por familias para el orden Díptera

Familia	Número de individuos	Porcentaje
Tipulidae	29	38%
Simuliidae	19	25%
Chironomidae	15	20%
Dolichopodidae	9	12%

Fuente: Universidad de Boyacá (2016)

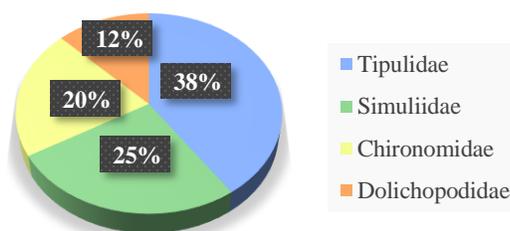


Figura 4. Porcentaje de organismos hallados por familias para el orden Díptera. Fuente: Autores (2021).

Por otra parte, el segundo y último orden hallado, Coleoptera el cual es uno de los más extensos y complejos, debido a que muchos de sus representantes son semiacuáticos con lo cual se dificulta clasificarlos como terrestres o acuáticos (Roldán, 1996), registró una menor cantidad de organismos, con tan solo el 5% (cuatro individuos) del total de individuos estudiados en los dos puntos de monitoreo, teniendo así que 1 individuo corresponde al punto 1 de muestreo, mientras que tres individuos corresponden al punto 2. Dicho orden está conformado en este estudio por las familias Scirtidae y Elmidae cuyos organismos están asociados con aguas de buena calidad, aunque algunos otros son característicos de aguas poco y moderadamente contaminadas (Arias et al., como se citó en Roldán, 2016).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la presencia significativa de los dos únicos órdenes encontrados (Díptera y Coleoptera) se debe a las condiciones de paisaje propias de la zona de estudio, así como de las características físicoquímicas identificadas para la quebrada; además de esto para Velasco (como se citó en Barinas, 2008) un orden determinado solo se presentará donde y cuando existan las condiciones y los recursos apropiados y sus competidores y depredadores no lo eliminen. La amplia diversidad y riqueza de dípteros acuáticos se debe a la gran capacidad que tienen estos organismos de colonizar múltiples hábitats, soportar condiciones ambientales de sequía y lluvia gracias a su variedad estructural, su morfología y su biología sumamente diversa, además los dípteros acuáticos habitan en más tipos de agua que cualquier otro grupo de insectos (Hanson et al., 2010). Esto se sustenta en familias como Tipulidae, la cual presentó la mayor abundancia y diversidad en las dos estaciones, sustratos y épocas de recolección; en la quebrada este patrón es producto de la amplia capacidad de hábitos alimenticios que tienen las larvas acuáticas de esta familia.

De acuerdo con Álvarez (2005) los indicadores biológicos presentan adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales, mostrando ciertos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas, esto significa que se puede obtener una visión histórica de acontecimientos ocurridos en un periodo de tiempo teniendo en cuenta la dinámica de las comunidades biológicas presentes. De igual manera, para autores como Sierra (como se citó en Meneses et al., 2019) la estructura y composición de las comunidades biológicas se ve comprometida por agentes contaminantes producto de las actividades antrópicas que se llevan a cabo en este tipo de sistemas hídricos, ocasionando también una disminución en variables

como el oxígeno disuelto ya que su concentración determina que especies, según su tolerancia pueden permanecer o no en este sistema. Igualmente, su distribución y abundancia se pueden ver comprometidas por factores como la velocidad de la corriente y el tipo de sustrato (Prat y Munné, 2014).

Asimismo, la contaminación antrópica no es el único factor que influye en la distribución y crecimiento de las especies, por lo cual se debe considerar factores climáticos, geográficos, así como simbióticos que alteran una comunidad (Giacometti y Versosa, 2006). Tercedor (1996) indica que cuando la calidad del agua es muy crítica los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los organismos tolerantes, incluso, en periodos hidrológicamente menos estables los organismos están más expuestos a las posibilidades de derivar por razones de comportamiento (para escapar de depredadores), y dispersión (buscar nuevos sitios de alimentación) (Hanson et al., 2010).

Análisis de variables físicas, químicas y microbiológicas para el establecimiento de la calidad del agua

La utilización de variables físico-químicas y microbiológicas puede catalogarse como un ejercicio complementario al análisis de comunidades biológicas, que facilita la identificación de especies químicas del agua y contribuye en la prevención de la contaminación de los cuerpos hídricos (Valdeverde et al., 2009); así pues, en la quebrada Casiquilla se llevó a cabo el monitoreo de 12 variables, algunas de ellas como temperatura, Oxígeno Disuelto, pH y conductividad eléctrica fueron medidas in situ, por medio de sonda multiparámetro (HI 9829).

Para la medición de las ocho variables restantes se tomaron muestras que fueron analizadas posteriormente en el laboratorio de análisis ambiental de la Universidad de Boyacá siguiendo lo establecido en la metodología Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Los resultados del monitoreo se consignan a continuación en la Tabla 4 y en gráficas a lo largo del documento.

Tabla 4

Datos de parámetros físicos, químicos, microbiológicos y caudal en los dos puntos de muestreo analizados

Parámetros analizados	Febrero		Abril		Julio		Octubre	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Temperatura hídrica (°C)	13.2	13.6	13.0	13.1	13.0	13.4	13.1	13.2
Nitritos (mg/L NO ₂)	0.2	0.15	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
Nitratos (mg/L NO ₃)	6.0	9.0	5.0	25.5	15.0	32	9.0	27.5
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.5	3.2	6.5	6.1	3.1	2.2	5.6	4.9
Fósforo total (mg/L)	0.54	0.8	0.61	0.85	0.62	0.9	0.89	0.85
pH	7.18	7.11	7.12	7.0	7.45	7.12	6.9	7.15
Conductividad (µS/cm)	20.0	33.0	22.0	20.0	27.0	20.0	32.0	21.0
Sólidos totales (mg/L)	10	9	11	15	12	12	11	9
DBO ₅ [mg/L] O ₂	4	6	2.65	6	5	4	2.39	5
Coliformes Totales [MPN/100ml]	27*10 ²	42,8*10 ⁴	61,5*10 ²	72,1*10 ⁴	49,7*10 ²	69*10 ⁴	52,3*10 ⁴	67.3*10 ⁴
Alcalinidad total (mg/L)	7.5	12.5	12.5	15	10	15	12.5	15
Dureza Total (mg/L)	12.5	20	15	15	17.5	20	15	20

Fuente: Universidad de Boyacá (2016)

La Figura 5 presenta los resultados obtenidos para los dos puntos de muestreo, en ella se denota que no hay valores atípicos para los 12 parámetros evaluados, sin embargo, la dispersión de los datos teniendo como base el valor del rango (R) del diagrama, es significativa para los puntos 1 y 2 en los nitratos ($R_{1-2} = 9; 3.4$), conductividad eléctrica ($R_{1-2} = 12; 13$), dureza total ($R_{1-2} = 5; 5$) coliformes totales ($R_{1-2} = 3450; 293000$), DBO ($R_{1-2} = 2.61; 2$), alcalinidad ($R_{1-2} = 5; 2.5$), SDT ($R_{1-2} = 2; 6$) y OD ($R_{1-2} = 3.4; 3.9$), puesto que en comparación con los restantes 4 parámetros el rango oscila entre 0.1 y 0.55 en los dos puntos de muestreo.

En cuanto a la distribución de los datos con respecto a la media, se muestra que en el punto 1, la temperatura, fósforo total, pH, CE y DBO₅ tienen asimetría positiva (el 50 % de los datos sesgados hacia el cuartil Q₃), mientras que los datos de dureza total y SDT son simétricos (la media de los datos es igual a la mediana) y los datos de los restantes 5 parámetros son asimétricos negativos (el 50 % de los datos están sesgados hacia el cuartil Q₁); en el punto 2 la simetría positiva de los datos la tienen el OD, CE, SDT, nitritos y temperatura; los datos de fósforo son simétricos y los datos de los 6 parámetros restantes son asimétricamente negativos.

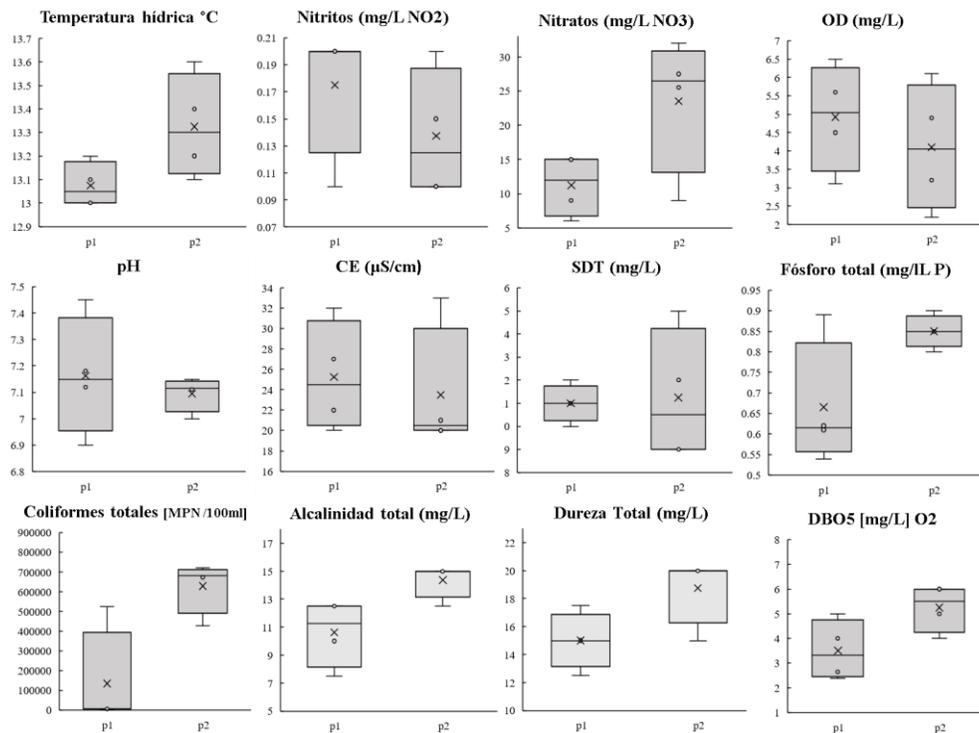


Figura 5. Diagramas de caja de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los puntos de muestreo analizados. Fuente: Autores (2021).

Temperatura hídrica

Desde el punto de vista ambiental, la temperatura es un parámetro de vital importancia, puesto que determina la saturación de oxígeno disuelto (relacionado con la polución que puede existir en el sistema) y la actividad biológica del cuerpo hídrico (Romero, 2006). Por lo anterior, se esperaría una disminución en el valor del oxígeno disuelto y las comunidades de macroinvertebrados (prevalciendo las de mayor tolerancia) a la salida del municipio (Sierra, 2011).

Como se muestra en la Figura 7, la temperatura en los puntos de muestreo oscila entre los 13 y los 13.6 °C, aun así, esta variación depende de si el periodo pluviométrico tiene altas o bajas precipitaciones, no obstante, existe un aumento considerable de la temperatura en el punto dos luego del casco urbano del municipio (en especial para los meses de febrero y julio, donde la variación fue de 0.4 °C) sin importar el periodo pluviométrico.

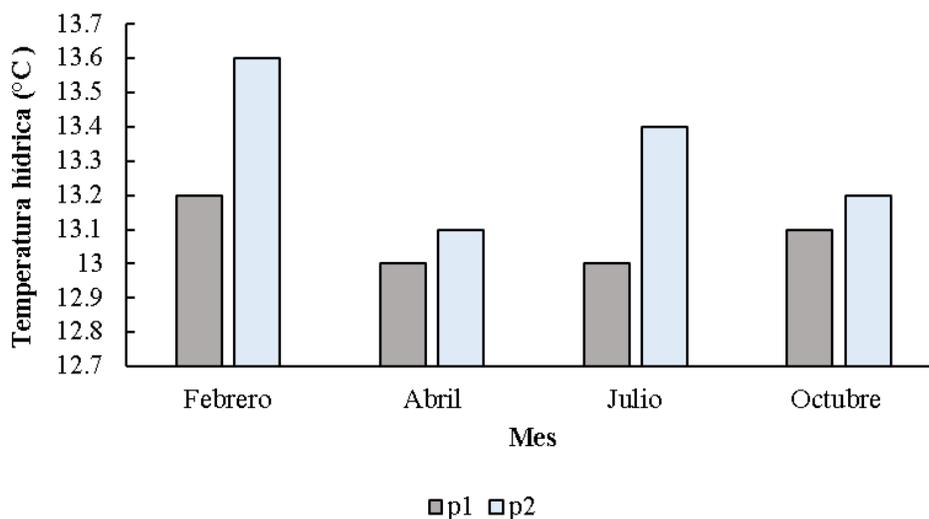


Figura 7. Datos de temperatura para los puntos de muestreo 1 y 2 en periodos de altas y bajas precipitaciones. Fuente: Autores (2021).

Oxígeno disuelto (OD)

La presencia de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua es indispensable para el sostenimiento de la vida de los organismos allí presentes (quienes lo usan para procesos

bioquímicos), su disponibilidad depende de las características físico-químicas de la fuente y su análisis es crucial en el control de la contaminación (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2004); para este caso el OD presentó mayores concentraciones en el mes de abril (correspondiente al periodo pluviométrico de altas precipitaciones) con un valor de 6.5 mg/L antes de la perturbación antrópica (P1), mientras que el mes de menor concentración de oxígeno disuelto corresponde a julio con 3.1 mg/L, esto antes del casco urbano del municipio (P1) (Figura 6).

Además, para los meses registrados existe una disminución en la concentración de OD, siendo febrero el mes con la variación más significativa, pues este parámetro disminuyó 1.3 mg/L entre el punto 1 y 2, esta observación concuerda con el hecho de que febrero fue en el tiempo analizado, uno de los meses con mayor temperatura (aumentó 0.4°C luego del casco urbano como se mencionó en el ítem anterior), evidenciando la relación inversamente proporcional entre el OD y la temperatura, tal como se aprecia en la Figura 7.

A pesar de las variaciones de temperatura, es igualmente importante considerar que la presencia de fuentes de material orgánico representadas en concentraciones de DBO₅ y presencia de sólidos tienen una relación con el comportamiento del OD en el sistema lótico en cuestión.

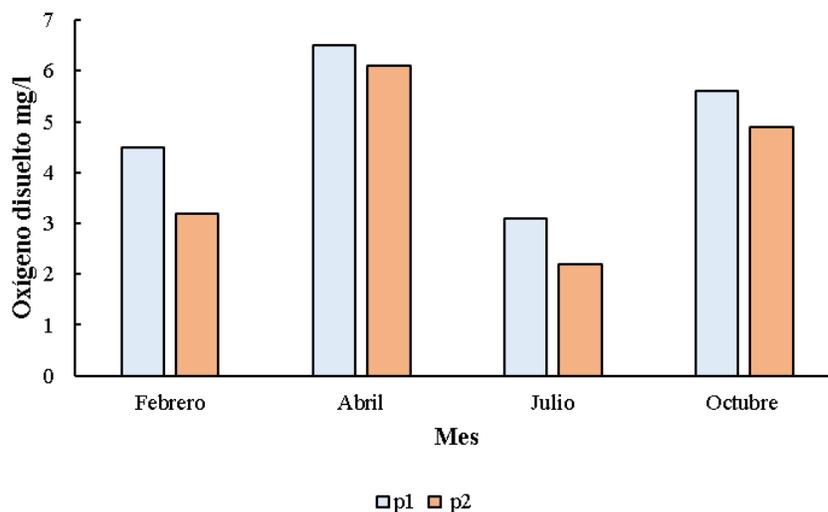


Figura 6. Concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en los puntos de muestreo analizados. Fuente: Autores (2021).

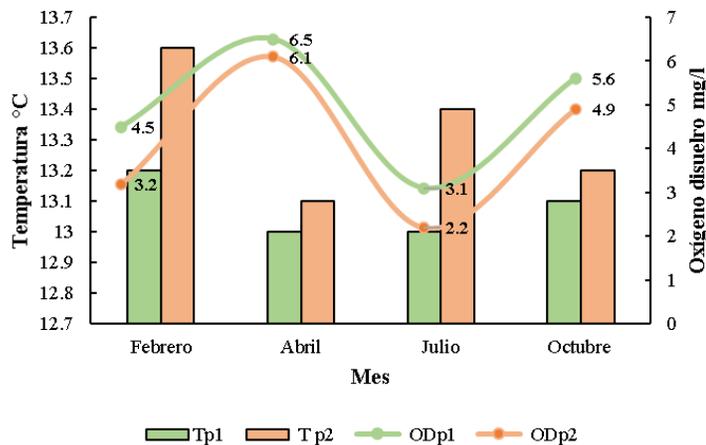


Figura 7. Valores de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo analizados y su relación con la temperatura. Fuente: Autores (2021).

pH y alcalinidad

Gran parte de la literatura muestra que la alcalinidad es la capacidad para neutralizar ácidos, no obstante, su relación con el pH es importante desde el punto de vista ambiental pues a través de un análisis en conjunto de estos, es posible conocer la naturaleza de la alcalinidad y la concentración de otros elementos como el dióxido de carbono en su forma libre (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2005). De manera general, el pH de los puntos analizados registra valores entre 6.9 y 7.45 (Figura 8), en el caso del punto 1 el pH medio es de 7.16 y para el punto 2 la media corresponde a 7.095 (Figura 5).

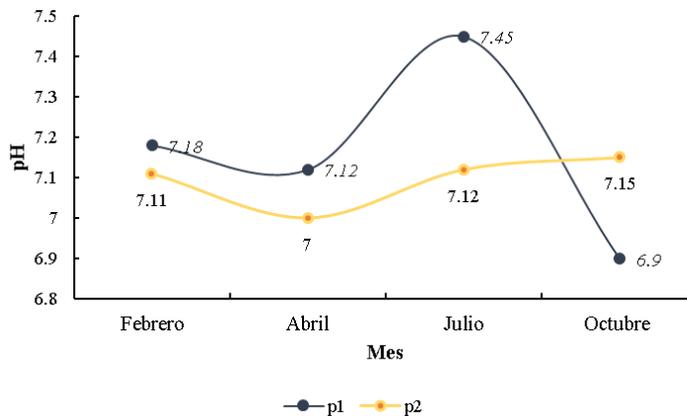


Figura 8. Variación de pH en los puntos de muestreo analizados para periodos de altas y bajas precipitaciones. Fuente: Autores (2021).

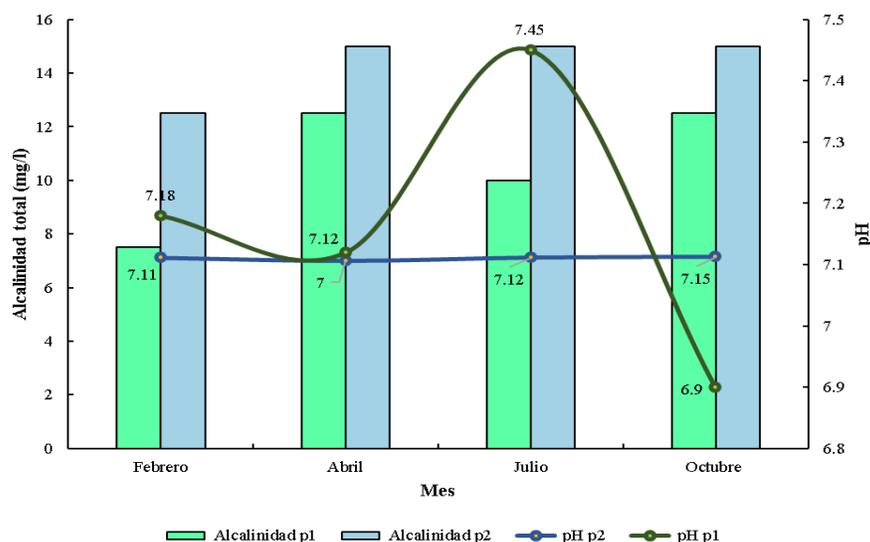


Figura 9. Valores de pH en los puntos de muestreo analizados en relación al aumento o disminución de la alcalinidad total. Fuente: Autores (2021).

En la Figura 9 se observa como el pH en el punto dos a pesar de disminuir, se mantiene casi constante, este fenómeno es consecuencia de la propiedad buffer que ocurre durante los procesos de fotosíntesis en el sistema hídrico, donde el dióxido de carbono que se encuentra en su forma libre se transforma en iones carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos responsables de la alcalinidad (Garbagnati et al., 2005). Para el caso de la quebrada Casiquilla, es posible que la alcalinidad esté atribuida a la presencia de bicarbonatos puesto que el pH no supera el valor de 8.3 (Roldán y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2012).

Tal como lo muestra Romero (2006) es posible calcular la cantidad de dióxido de carbono libre a partir de varias ecuaciones con el fin de conocer si el agua tiene capacidad incrustante o agresiva. En este caso se empleó la ecuación de Tillman (1990).

$$CO_2\left(\frac{mg}{L}\right) = 10^{\log(Alcalinidad * 2.030.000) - pH} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Tabla 5

Dióxido de carbono en estado libre, presente en los puntos de muestreo (P1: Punto 1, P2: Punto 2)

Mes	Alcalinidad total (mg/L)	P1		P2		
		pH	CO ₂ (mg/L)	Alcalinidad total (mg/L)	pH	CO ₂ (mg/L)
Febrero	7.5	7.18	1.0059058	12.5	7.11	1.9697271
Abril	12.5	7.12	1.9248906	15	7	3.045
Julio	10	7.45	0.7202712	15	7.12	2.3098687
Octubre	12.5	6.9	3.1945232	15	7.15	2.1556949

Fuente: Autores (2021)

Teniendo en cuenta los datos relacionados anteriormente y lo mencionado por Romero (2006) la cantidad de CO₂ en estado libre es menor que la concentración de los iones responsables de la alcalinidad, por tanto, el agua de la quebrada Casiquilla es considerada incrustante (desde el punto de vista de la relación del pH con la alcalinidad), no obstante, dichas características serán analizadas con más detalle en el ítem de dureza total.

Dureza total

Dados los valores de dureza registrados en la quebrada Casiquilla, la Organización Mundial de la Salud (como se citó en Rodríguez, 2009) refiere que las aguas son blandas, pues en ningún caso se exceden los 60 mg/L de CaCO₃ (Figura 10). Como se mencionó anteriormente, la alcalinidad de la quebrada podría ser generada por los aniones bicarbonatos presentes en ella, y teniendo en cuenta que son aguas naturales, probablemente estos iones son los responsables de la dureza carbonácea en la quebrada (Romero, 2006), esto apoyado en los resultados de la Tabla 6, donde se observa que la concentración de dureza carbonácea es mayor a la no carbonácea.

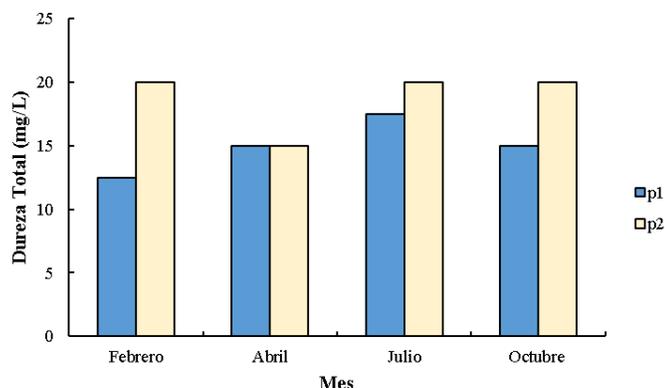


Figura 10. Valores de dureza total en los puntos de muestreo analizados. Fuente: Autores (2021).

Tabla 6

Concentración de dureza permanente y no permanente en la quebrada Casiquilla para los puntos de muestreo analizados

Mes	Dureza no carbonácea (mg/L)		Dureza carbonácea (mg/L)	
	P1	P2	P1	P2
Febrero	5	7.5	7.5	12.5
Abril	2.5	0	12.5	15
Julio	7.5	5	10	15
Octubre	2.5	5	12.5	15

Fuente: Autores (2021)

De ese modo se evidencia que la generación de incrustaciones es baja, y que además la dureza del agua es en mayor medida no permanente (Soto, 2009).

Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

La conductividad eléctrica es la capacidad que tiene el agua de conducir electricidad gracias al contenido de iones y sales disueltas en ella, de allí que se relacione con la concentración de sólidos disueltos, es así que a mayor cantidad de sólidos mayor es la conductividad (HACH Company, 2017). Entendiendo a la quebrada Casiquilla como un sistema hídrico complejo, el comportamiento de la relación entre los STD y la CE no se muestran directamente

proporcionales como se registra en la literatura, tal situación está relacionada con la temperatura hídrica (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2006).

En este mismo sentido, en el mes de febrero, la conductividad eléctrica aumentó con la temperatura, para el mes de abril, el descenso de la temperatura afectó la conductividad de la quebrada a pesar del aumento de SDT luego del casco urbano. En julio la temperatura aumentó, pero los sólidos suspendidos no fluctuaron y la conductividad bajó, entre tanto para el mes de octubre, la disminución de la temperatura y sólidos posiblemente favorecieron el descenso en la conductividad; por otra parte, según lo expuesto por Roldán y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2012) los valores de conductividad eléctrica en el sistema son bajos puesto que se encuentran entre 10 y 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

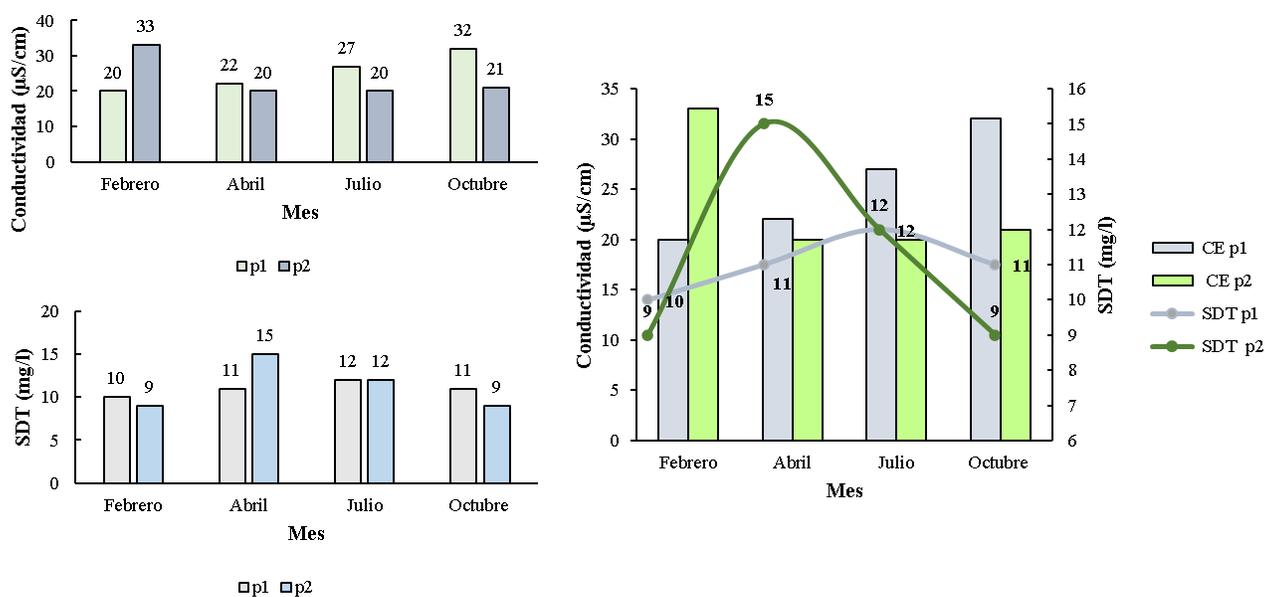


Figura 11. Valores de CE en los puntos de muestreo analizados en relación al aumento o disminución de SDT. Fuente: Autores (2021).

Nitritos y nitratos

El comportamiento que muestra la Figura 12, es la disminución en la concentración de nitritos en el punto 1 para los meses de febrero y abril, este comportamiento se encuentra

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

asociado a los procesos de nitrificación que se llevan a cabo en las aguas naturales, en ese caso los nitritos pasan por procesos de oxidación para formar nitratos (Blancas y Hervás, 2001). La presencia de estos elementos nitrogenados no se considera tóxica, sin embargo, la ingesta de grandes concentraciones de nitratos puede tener efectos diuréticos sobre la salud humana si es empleada para el consumo (Molina et al., 2003), este es un factor a considerar, puesto que en meses como abril y julio las concentraciones de nitratos son considerablemente elevadas.

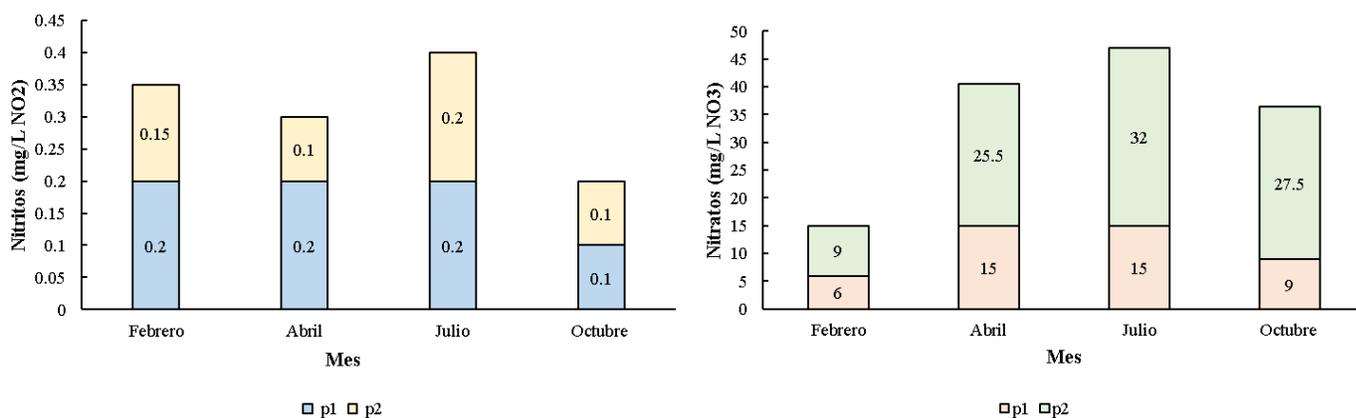


Figura 12. Concentración de nitritos y nitratos en mg/L para los puntos de muestreo analizados. Fuente: Autores (2021).

Demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

La materia orgánica registrada en los puntos de muestreo analizados y en los cuatro meses observados, excede los 2 mg/L (Figura 13), por tanto, existe un alto potencial de contaminación de tipo orgánica (Roldán, 2003). De manera tal que, la DBO permite observar la presión ejercida sobre el cuerpo hídrico (Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente [MVOTMA], 2013); adicionalmente, en la Figura 13 se observa que en el punto 1, el mes con mayor concentración de materia orgánica es julio con 5 mg/L de DBO, y en el punto 2 corresponde a los meses de febrero y abril, con 6 mg/L de DBO cada uno, esta situación por supuesto contribuye en la disminución de oxígeno disuelto (Figura 14) empleado por los microorganismos presentes para la degradación de la materia orgánica.

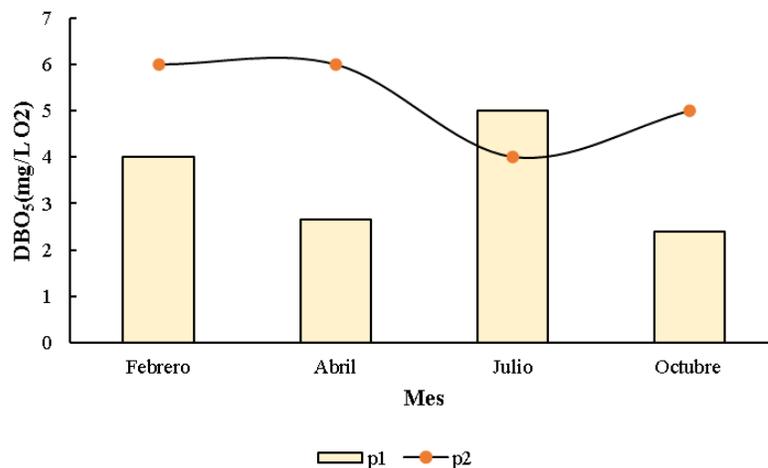


Figura 13. Concentración de DBO en mg/L para los puntos de muestreo analizados. Fuente: Autores (2021).

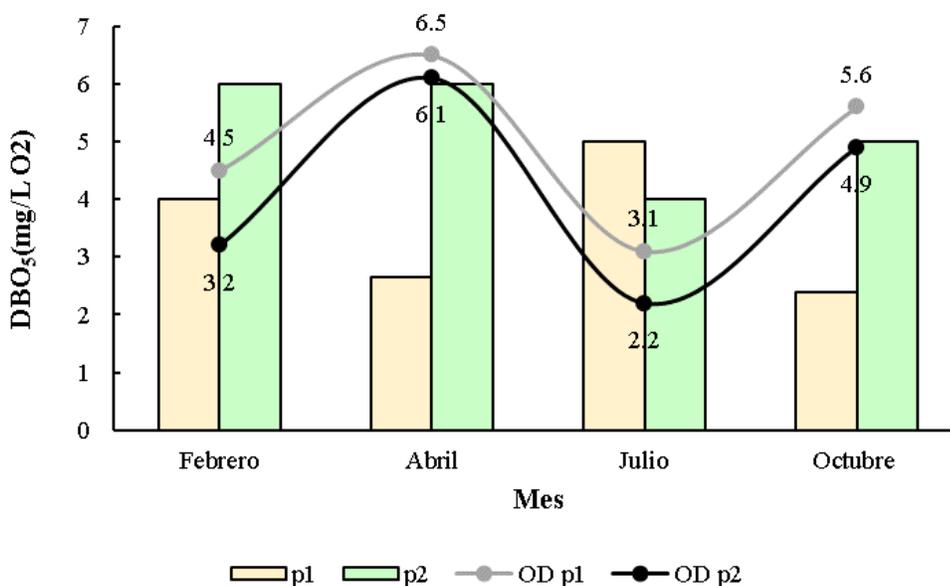


Figura 14. Variación de la DBO en los puntos de muestreo analizados en relación al aumento o disminución de OD. Fuente: Autores (2021).

Coliformes totales

Los coliformes son un grupo amplio de bacterias que incluye a los coliformes fecales; estas son denominadas indicadores ya que su presencia muestra una potencial contaminación entre bacterias y sistema hídrico (no necesariamente asociada a contaminación fecal) (Swistock, 2020); Estos organismos en el agua pueden ser el resultado del contacto con bacterias del suelo, de superficies de agua dulce e intestinales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2007). Ahora bien, para este caso la presencia de coliformes totales en el punto 2 es significativamente mayor que en el punto 1, así mismo se registra que la concentración de estos aumenta en periodos de altas precipitaciones (véase Figura 15).

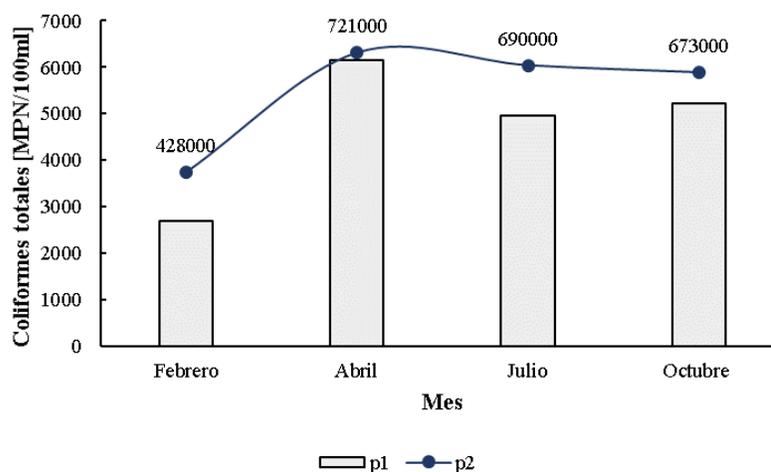


Figura 15. Concentración de coliformes totales en los puntos de nuestro analizados. Fuente: Autores (2021).

Fósforo total

La presencia de fósforo en los sistemas hídricos es de vital importancia puesto que permite el mantenimiento de organismos vivos (plantas y animales), mientras que, desde el punto de vista ambiental su influencia supone un factor indispensable en los procesos de eutrofización (Fuentes, 2001). En este caso, la Figura 16 evidencia un aumento en la concentración de fósforo total de un punto al otro, en especial en el mes de julio, donde alcanzó los 0.9 mg/L. Adicional a lo anterior y considerando lo mencionado por la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental [CORPONOR] (2017) la presencia del fósforo en el sistema hídrico se

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

debe a la presencia de materia orgánica, lo cual ha desencadenado procesos de eutrofia en la misma (tal como se muestra en el capítulo dos de este documento), tal escenario se evidencia en la Figura 17, donde se observa como la acumulación de material orgánico ha generado una disminución en el oxígeno disuelto de la quebrada, en especial en el punto dos, luego del casco urbano de Gachantivá.

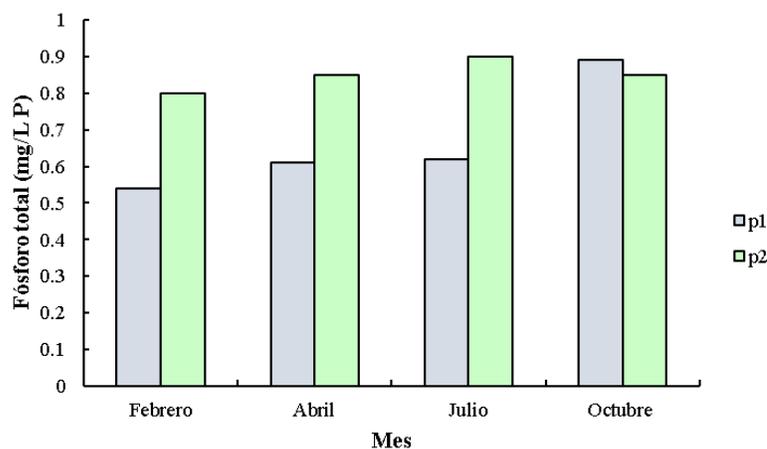


Figura 16. Concentración de fósforo total en los puntos de muestreo analizados. Fuente: Autores (2021).

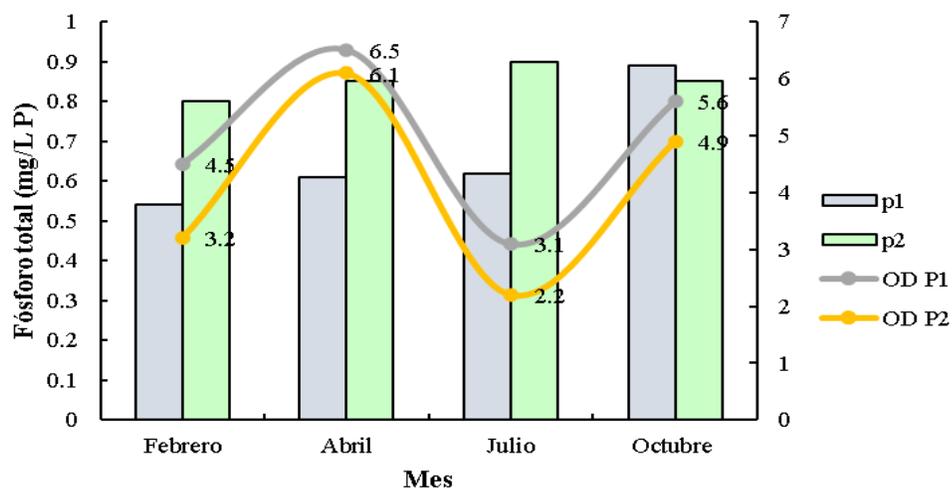


Figura 17. Efecto de la concentración de fósforo total sobre el oxígeno disuelto de la quebrada Casiquilla. Fuente: Autores (2021).

Índices Biológicos y de Contaminación para el Establecimiento de la Calidad del Agua de la Quebrada Casiquilla

En este capítulo, se presenta inicialmente el análisis de la calidad del agua de la zona de estudio a través del índice BMWP/Col, el cual permitió evaluar su estado para cada punto de monitoreo de acuerdo al periodo pluviométrico (seco - lluvioso), teniendo como base la puntuación en términos de tolerancia que posee cada familia encontrada, así como sus características y su hábitat distintivo. Asimismo, se dan a conocer los resultados de calidad del sistema hídrico apoyados en los índices de contaminación del agua ICO's; la metodología empleada para los cálculos de cada uno de los índices corresponde a la expuesta por Ramírez et al. (1997) y Ramírez et al. (1999), quienes basan sus aportes en estudios limnológicos llevados a cabo en la industria de petróleos colombiana, para finalmente plantear una serie de ecuaciones (Tabla 8) que agrupan variables físicas, químicas y biológicas, que ambientalmente tienen una relación entre sí.

Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)

Como parte de la evaluación de la calidad del agua de la quebrada Casiquilla se hizo uso de la metodología BMWP/Col (adaptada para Colombia) por ser un método complementario a los análisis físicos y químicos, sencillo y rápido a través del cual se emplean macroinvertebrados como bioindicadores (Roldán, 2016). Para ello, se tiene en cuenta la valoración que posee cada familia la cual oscila entre 1 y 10 de acuerdo a la tolerancia de los distintos grupos a la contaminación orgánica, es decir, la suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total de BMWP (Roldán Pérez y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2012), además con esta puntuación es posible comparar la situación relativa entre puntos de monitoreo (Tercedor, 1996).

De esta manera, para el cuerpo hídrico en estudio, al aplicar el indicador biológico se registraron valores para cada punto de monitoreo de acuerdo al periodo pluviométrico (Tabla 7).

Tabla 7

Clases de calidad de agua, valores de BMWP/Col significado y escala cromática por punto de monitoreo

Periodo pluviométrico	Punto de muestreo	Valor BMWP/Col	Clase	Calidad	Significado	Escala Cromática
Seco/Febrero	P1	13	V	Muy crítica	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo
	P2	47	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
Lluvioso/Abril	P1	55	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
	P2	41	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
Seco/Julio	P1	23	IV	Crítica	Aguas muy contaminadas	Naranja
	P2	38	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
Lluvioso/Octubre	P1	43	III	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
	P2	71	II	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde

Fuente: Roldán (2003)

En la determinación de la calidad del agua de los dos puntos de monitoreo al aplicar el índice BMWP/Col reportaron valores inferiores a 72. Para los meses de febrero y julio (periodo seco) en los puntos 1 y 2 de muestreo se colectaron familias cuya puntuación es baja especialmente para el P1, dado que sus valores de BMWP corresponden a 13 (para febrero) y 23 (para julio), es decir, se ubican en la clase IV, de calidad crítica (aguas muy contaminadas) y en la clase V, de calidad muy crítica (aguas fuertemente contaminadas) como se muestra en la Figura 18 (Roldán, 2003).

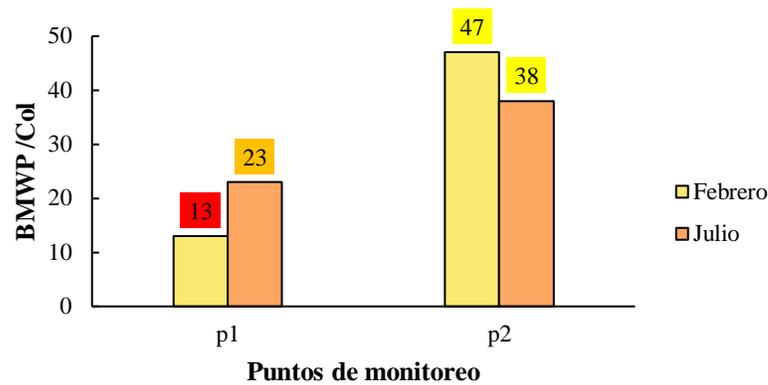


Figura 18. Valor del índice BMWP/Col por punto de monitoreo para los meses de febrero y julio de 2016. Fuente: Autores (2021).

Los dípteros colectados en este primer punto tanto para febrero como para julio, pertenecen a la familia Tipulidae y Chironomidae los cuales son representantes de aguas donde existe materia orgánica en descomposición, además de ser propios de ambientes lóticos que habitan sobre fondos arenosos, en sedimentos, troncos y material vegetal en descomposición (Terneus et al., 2012), elementos que se encuentran presentes en la quebrada Casiquilla, lo que permitió la presencia representativa de estos géneros. Además, la dominancia y riqueza de este orden son altamente influenciadas por factores como la altitud, la época de muestreo y el uso del suelo tal como lo demuestra Ramos (2018) en el río Muincha en el municipio de Turmequé.

Según Navarrete et al. (2004) el oxígeno disuelto es de los parámetros que determina, junto con la temperatura, la presencia o ausencia de dichos organismos, es decir, en condiciones de poca oxigenación no se ven perjudicados puesto que tienen un amplio rango de tolerancia a los cambios fisicoquímicos del agua y con valores de conductividad altos. Igualmente, para el autor

Wilches et al. (2012) en municipios aledaños a la zona de estudio como Arcabuco, el orden Díptera fue uno de los más abundantes ya que sus representantes poseen adaptaciones morfológicas que les permiten respirar y desarrollarse en ambientes acuáticos con baja concentración de oxígeno, además de que su fuente de alimento también se basó en material orgánico fino proveniente de hojarasca hallada en este sistema, lo cual se asemeja con las características del sitio en estudio.

Sin embargo, también se encuentran otros representantes los cuales son, en su mayoría, característicos de aguas limpias, aunque pueden presentarse algunos de aguas poco contaminadas como los individuos de la familia Simuliidae, (Roldán Pérez y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2012), la cual está fuertemente relacionada con la conductividad eléctrica, puesto que la alta conductividad genera un ambiente propicio para el desarrollo en abundancia de Simulidos, no obstante para los autores Torres et al. (2006), un aumento en este parámetro disminuye la riqueza y diversidad de macroinvertebrados.

Mientras tanto, para el caso del P2 los valores de BMWP/Col registrados tanto para el mes de febrero como para el mes de julio, aumentaron con respecto a los valores del P1, lo que significa que parte de las familias halladas poseen puntuaciones más altas (son más sensibles a la contaminación) y existe un mayor número de representantes por parte de estas. Los puntajes de BMWP correspondientes a 47 (para febrero) y 38 (para julio), se ubican en la clase III, de calidad dudosa, lo cual significa que son aguas moderadamente contaminadas (Roldán, 2003).

Al igual que el punto anterior, este punto presenta la misma variedad de familias, adicionando el orden Coleoptera, con la familia Scirtidae propias de zonas lólicas, cuyos sustratos más representativos son la grava, piedras, arena y vegetación sumergente y emergente (Roldán, 1996), en este punto de monitoreo conformado por rocas y cantos se puede encontrar mayor biodiversidad como biomasa puesto que representan un adecuado hábitat para mantener un alto número de individuos (Sganga, 2011), lo que para Quinn & Hickey (como se citó en Meza et al., 2012) se debe a factores fisicoquímicos que influyen las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como la velocidad de la corriente, temperatura media del agua y la disponibilidad de oxígeno en concentraciones altas el cual es influenciado por la turbulencia del agua que otorga este tipo de sustrato.

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

En periodo lluvioso (abril y octubre) el P1 comparte características de calidad similares, pero solo con el mes de abril del P2 (Figura 19), puesto que se obtuvieron valores moderados del índice BMWP/Col (Roldán, 2003), es decir, se ubican en la clase III, de calidad dudosa (aguas moderadamente contaminadas), debido a la presencia y abundancia de taxones de las familias Chironomidae, Dolichopodidae y Tipuliidae, cuyos representantes son propios de aguas contaminadas, moderadamente contaminadas y muy contaminadas, respectivamente; estos organismos se encuentran adheridos a la vegetación y son indicadores de aguas oligomesotróficas y mesoeutróficas, es decir, que presentan variabilidad de adaptaciones a la concentración de nutrientes (Salas y Martinó, como se citó en Merayo y González, 2010).

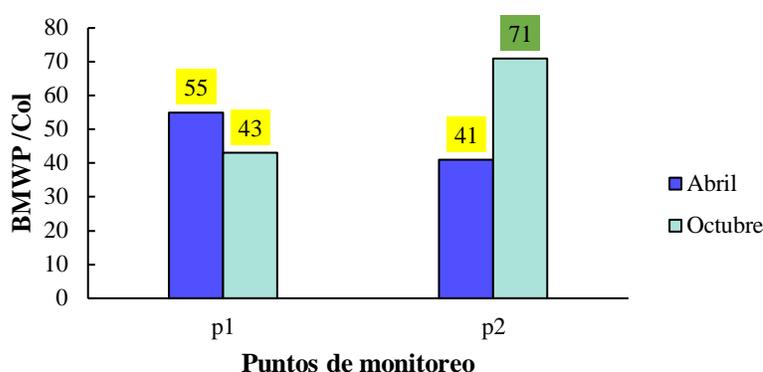


Figura 19. Valor del índice BMWP/Col por punto de monitoreo para los meses de abril y octubre de 2016. Fuente: Autores (2021).

Sin embargo, para el mes de octubre en el P2 de monitoreo se presentó un notable incremento del índice BMWP/Col, situándose en la clase II, de calidad aceptable (aguas ligeramente contaminadas), asimismo, al igual que el periodo seco, con una gran cantidad de taxones, la familia Simulium propia de aguas muy limpias también se hizo presente, este aumento de diversidad demuestra que las comunidades sufren un cambio con la renovación de las aguas debida a las lluvias, aún en los sitios de carácter predominante léntico (Cortés y Ospina, 2014). De acuerdo con Maneechan & Prommi (como se citó en Dávila et al., 2019) la elevada diversidad de insectos acuáticos también es atribuida a la heterogeneidad de los microhábitats disponibles.

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

Según Rodríguez y Silva (2015) durante el periodo de lluvia la contaminación disminuye debido al efecto de la dilución y mayor aireación por aumento del caudal, a la disminución en la temperatura del agua y al paso de la misma a través de la vegetación lo cual disminuye la carga de nutrientes. Además, las especies que se encuentran en lechos rocosos y gravas (que se presentan en este punto), tienen características morfológicas y comportamentales que les permiten ser resistentes ante las fuertes corrientes y muchas de ellas se adaptan a mecanismos con los cuales pueden permanecer en zonas rápidas durante las fuertes lluvias (Fernández y Domínguez, 2001).

A continuación, se presenta la información, cálculos y análisis de los índices de contaminación del agua obtenidos para los dos puntos de muestreo de la Quebrada Casiquilla.

Índices de contaminación del agua (ICO's) para el análisis de la calidad del agua

Tabla 8

Ecuaciones para el cálculo de índices de contaminación

Índices de contaminación	Ecuaciones	Condiciones
ICOMI	$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad})$	<p>-Si el valor de conductividad es $>270 \mu\text{S}/\text{Cm}$, entonces $I_{Conductividad} = 1$</p> <p>-Si el valor de dureza es $> 110 \text{ mg/L}$, entonces $I_{Dureza} = 1$</p> <p>-Si el valor de dureza es $< 30 \text{ mg/L}$, entonces $I_{Dureza} = 0$</p> <p>-Si el valor de alcalinidad es $> a 250 \text{ mg/L}$, entonces $I_{Alcalinidad} = 1$</p> <p>-Si el valor de alcalinidad es $< a 50 \text{ mg/L}$, entonces $I_{Alcalinidad} = 0$</p>
ICOTRO	No aplica	<p>Oligotrófico $< 0.01 \text{ mg/L}$</p> <p>Mesotrófico $0.01-0.02 \text{ mg/L}$</p>

ICOMO

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

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.7 * \log_{10} DBO \left(\frac{mg}{L} \right)$$

$$I_{Coliformes\ totales} = -1.44 + 0.5 * \log_{10} Coliformes\ T \left(\frac{NMP}{100Cm^3} \right)$$

$$I_{Oxígeno} = 1 - 0.01 * oxígeno(\%)$$

Eutrófico 0.02-1 mg/L

Hipereutrófico >1 mg/L

-Si el valor de DBO es > a 30 mg/L, entonces

$$I_{DBO} = 1$$

-Si el valor de DBO es < a 2 mg/L, entonces

$$I_{DBO} = 0$$

-Si el valor de coliformes totales es > a 20.000 NMP/100 Cm³, entonces I Coliformes

$$I_{Coliformes\ totales} = 1$$

-Si el valor de coliformes totales es < a 500 NMP/100 Cm³, entonces I Coliformes totales = 0

-Si el valor de % oxígeno es > a 100%, entonces I oxígeno = 0

ICOpH

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45*pH}}{1 + e^{-31.08+3.45*pH}}$$

No aplica

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

Las mencionadas ecuaciones generan un valor numérico que oscila entre 0 y 1; dichos valores tienen una clasificación y descripción cualitativa que permite describir el grado de contaminación del o los sistemas involucrados (Samboní et al., 2007) tal como se aprecia a continuación:

Tabla 9

Significancia de los índices de contaminación (ICO's)

ICO's	Contaminación	Escala de color
0-0.2	Ninguna	Azul
>0.2-0.4	Baja	Verde
>0.4-0.6	Media	Amarillo
>0.6-0.8	Alta	Naranja
>0.8-1	Muy alta	Rojo

Fuente: Ramírez et al. (1999)

Así pues, teniendo en cuenta la información anterior se presentan los resultados obtenidos en los dos puntos de monitoreo correspondientes a los índices de contaminación del agua por mineralización, materia orgánica, pH y eutrofización.

Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).

El ICOMI permite observar el grado de contaminación por mineralización de un cuerpo hídrico teniendo en cuenta 3 variables: conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad. Así pues, en la Tabla 10 se aprecia que la contaminación por mineralización en el sistema, es aportada en su totalidad por la conductividad eléctrica, la cual se asocia a la concentración de sólidos disueltos de tipo iónico (Corporación Autónoma Regional del Tolima [CORTOLIMA], 2018); no obstante, el grado de contaminación no es significativo puesto que los valores obtenidos son menores a 0.2 (véase Figura 20), por tanto, no se presenta contaminación por mineralización.

Tabla 10

Resultados del índice de contaminación por mineralización por puntos de monitoreo

Mes	I Conductividad		I Dureza		I Alcalinidad	
	p1	p2	p1	p2	p1	p2
Febrero	0.030	0.060	0	0	0	0
Abril	0.035	0.030	0	0	0	0
Julio	0.046	0.030	0	0	0	0
Octubre	0.057	0.032	0	0	0	0

Fuente: Autores (2021)

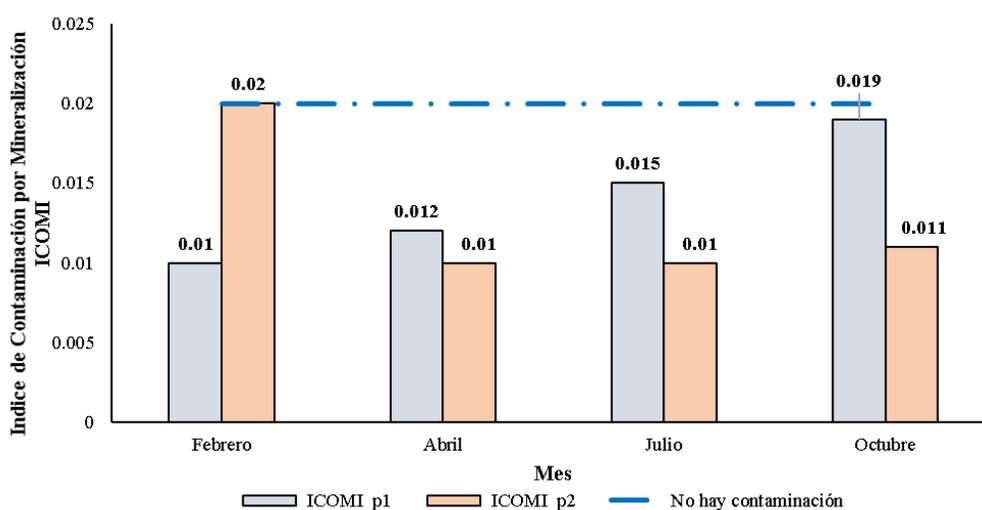


Figura 20. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) por punto de monitoreo.

Fuente: Autores (2021).

De manera más detallada, la Figura 20 presenta los valores más altos de ICOMI para el punto 1 en el mes de octubre y julio, mientras que para el punto 2, el máximo valor de este índice se presenta en el mes de febrero, este comportamiento podría estar “asociado posiblemente a las primeras escorrentías con el inicio de las lluvias ... y a los menores caudales propios del periodo seco del año” (Ramírez et al., 2005, p. 13).

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

Para la determinación de la contaminación por materia orgánica, el ICOMO agrupa las variables, DBO₅, coliformes totales y oxígeno de saturación, de este modo en la Tabla 11 se evidencia que la contaminación por materia orgánica en la quebrada es producto de las altas concentraciones de coliformes totales, lo cual favorece la disminución del oxígeno de saturación del punto uno al dos. De acuerdo a la significancia de este índice la contaminación en los puntos 1 y 2 oscila entre 0.35 y 0.596 clasificándose como baja a media (Tabla 9).

Tabla 11

Resultado de contaminación con materia orgánica por puntos de monitoreo

Mes	I DBO ₅		I Coliformes totales		I Oxígeno	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Febrero	0	0	0.48	1	0.57	0.69
Abril	0	0	0.68	1	0.38	0.42
Julio	0	0	0.63	1	0.70	0.79
Octubre	0	0	0.64	1	0.47	0.53

Fuente: Autores (2021)

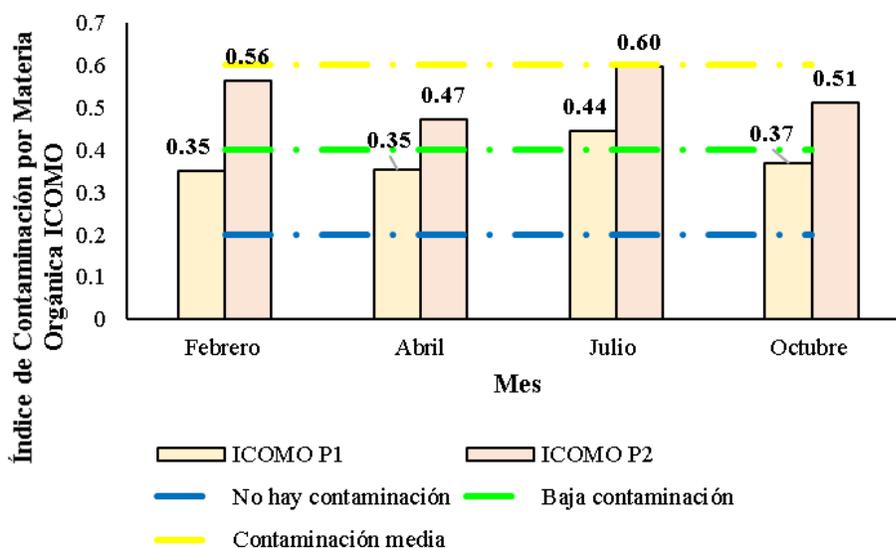


Figura 21. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) por punto de monitoreo.

Fuente: Autores.

La influencia de la contaminación orgánica por coliformes totales se evidencia en mayor medida a la salida del casco urbano (P2) en los meses de febrero y julio donde registra contaminación media (0.564 y 0.473 respectivamente); mientras que en el punto uno para el

mes de febrero se observa el menor valor por contaminación orgánica (contaminación baja), en este sentido se comprende que la contaminación es netamente microbiológica, posiblemente proveniente de vertimientos y escorrentía (Arcos et al., 2005).

Índice de contaminación por pH (ICOpH).

Este índice de contaminación se basa en cálculos matemáticos realizados en torno a los valores de pH evaluados, y su importancia radica en el potencial como indicador del grado de contaminación generado en un cuerpo hídrico por agentes contaminantes (Pérez y Rodríguez, 2008); En el caso de la quebrada Casiquilla se muestra en la Figura 22 que los aportes de contaminación por pH, son inferiores a 0.2 y por tanto no hay contaminación, sin embargo, se observa que cuando el pH aumenta la contaminación también lo hace.

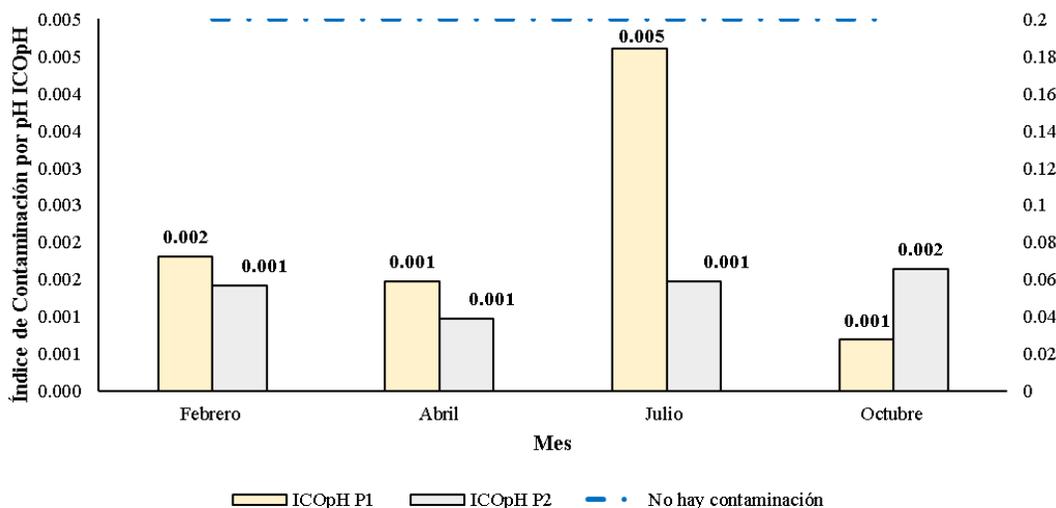


Figura 22. Índice de contaminación por pH (ICOpH) por punto de monitoreo. Fuente: Autores (2021).

Índice de contaminación por eutrofización (ICOTRO).

El ICOTRO es un índice que permite evaluar el nivel de contaminación del agua teniendo en cuenta la concentración de fósforo en el sistema, y los tipos de ortofosfatos que se puedan encontrar (Ramírez et al., 1997); así pues, luego de la evaluación de este índice se encontró que

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

para cualquiera de los periodos pluviométricos y los meses evaluados, el sistema lótico presenta eutrofía, tal como lo muestran García y Rosales (2018), algunos factores que podrían incidir en la eutrofización son la geología de la zona, el clima (en especial el clima caluroso), zonas poco profundas en el sistema y las características de área de drenaje.

Conclusiones

La abundancia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, fue diferente en los dos puntos de monitoreo de la quebrada Casiquilla, no obstante, es de considerar que las comunidades halladas fueron similares en ambas estaciones. De igual manera, su permanencia fue significativa durante los muestreos realizados en los meses de abril y octubre, en los cuales las lluvias incrementaron, y por ende las condiciones de alto caudal favorecían la presencia de un mayor número de microhábitats, teniendo en cuenta que estos insectos desarrollan adaptaciones ante las elevadas velocidades de las corrientes, lo que promovió el establecimiento de un gran número de individuos.

La diversidad de fauna existente en el cuerpo hídrico se puede considerar como muy variada, debido a la presencia de taxones sensibles a la contaminación, representativos de aguas ligeramente contaminadas, sin embargo, su distribución a lo largo del cauce es baja mientras que taxones cuya sensibilidad a la contaminación es menor, es decir, representativos de aguas ligera, moderada y muy contaminadas presentan una distribución mucho mayor.

Se resalta la importancia de la medición de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en un sistema hídrico, puesto que estos facilitan la identificación de las especies químicas (como CO_2 , H^+ , HCO_3 y CaCO_3), presencia o ausencia de bacterias y su influencia en las comunidades de macroinvertebrados presentes en el agua; dichas variables cuentan con una correlación entre sí, que deja al descubierto algunas problemáticas de contaminación que pueden o no estar asociadas a la presión antrópica.

De acuerdo con la aplicación del índice BMWP/Col la calidad biológica de este ecosistema acuático en los puntos 1 y 2 de monitoreo, tiende a ser mejor en periodo de altas precipitaciones, sin embargo, la calidad de agua es regular y mala, lo que significa que el nivel tanto fisicoquímico como ecológico de este sistema se constituye como limitante para el desarrollo de fauna béntica de baja tolerancia a la contaminación, lo cual representa una disminución en su calidad.

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

El resultado obtenido a través de la aplicación de los ICO's evidencia polución presente en la quebrada Casiquilla, no obstante, la contaminación proveniente del pH y los procesos de mineralización que se dan en ella no son significativos, mientras que la degradación por presencia de material orgánico es considerablemente mayor, al punto que dicho comportamiento ha repercutido en variables importantes como el OD en el sistema.

Recomendaciones

Para el monitoreo del estado de la calidad del agua de la quebrada Casiquilla en Gachantivá considerando los usos que tiene, se sugiere a las autoridades locales y ambientales competentes hacer la toma y análisis de otras variables fisicoquímicas y microbiológicas lo cual permitiría resultados más certeros en la toma correspondiente a decisiones para el manejo y protección de este recurso.

Se recomienda apoyar e incentivar la investigación del recurso hídrico en las distintas zonas del municipio de Gachantivá, especialmente en la zona de estudio evaluada, atendiendo a que la información consolidada en esta investigación podría ser la única fuente de análisis y resultados para las autoridades y habitantes del municipio, además, con ello se buscaría complementar los estudios sobre el estado ambiental de este recurso y tener una visión más amplia de la situación actual de la quebrada.

Es de vital importancia desarrollar acciones administrativas y políticas que involucren a la comunidad con el objetivo de preservar y conservar este ecosistema acuático, el cual debe ser considerado como un recurso invaluable por su disponibilidad y oferta para los habitantes en el desarrollo de sus actividades productivas, teniendo en cuenta que su calidad se ve comprometida por los múltiples vertimientos.

De igual manera, se recomienda a las autoridades ambientales exigir el cumplimiento de la normativa correspondiente, con el fin de que las actividades antrópicas que sean desarrolladas en áreas cercanas a la quebrada no representen un peligro para la sostenibilidad de la misma y los organismos que la habitan.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipio de Gachantivá. (2016). Esquema de ordenamiento territorial. Recuperado de <https://www.dapboyaca.gov.co/wp-content/uploads/2015/06/GACHANTIVAVEREDAL.pdf>
- Álvarez, L. (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>
- Arcos, M., Ávila, S., Estupiñán, S., y Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69-79. Recuperado de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/338/1214>
- Barinas, M. (2008). *Caracterización de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca El Carrizal, Parque Nacional La Tigra, Honduras*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Zamorano, Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5657/1/IAD-2008-T003.pdf>
- Blancas, C., y Hervás, E. (2001). Contaminación de las aguas por nitratos y efectos sobre la salud. Recuperado de: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/salud_5af065353ff4b_contaminacion_aguas_por_nitratos.pdf
- Cañas, J. (2014). *Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOS) en cuerpos de agua*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/10901>.
- Carrera, C., y Fierro, K. (2001). Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Recuperado de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=56374>.
- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR). (2017). Interpretación de resultados por parámetros (nitrógeno total, fósforo total). Recuperado de http://corponor.gov.co/calidad_agua/2018/9_RIO_ZULIA_CALIDAD_FISICO_QUIMICA_MICROBIOLOGICA_2018/40_COMPARACION_NITROGENO_TOTAL_FOSFORO.pdf
- Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA). (2018). *Calidad de aguas*. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_coello/diagnostico/l211.pdf

- Cortés, D., y Ospina, R. (2014). Comunidad de Macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la Isla de Providencia, Mar Caribe Colombiano. *Intrópica*, 9(1), 9 – 22. Recuperado de <https://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/1421/936>.
- Dávila, G., Ortiz, J., y Reyes, F. (2019). Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza específica de los macroinvertebrados bentónicos en dos ríos tropicales de montaña, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 6(1), 2409-3459. Recuperado de <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1025493>.
- Donato, J. (2008). *Ecología de un río de montaña de los andes colombianos (río Tota, Boyacá)*. Recuperado de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Biologia/Ecologia_de_un_Rio_de_Montana_de_los_Andes_Colombianos/Rio_Tota-1__4_de_agosto_2008_.pdf
- Fernández, H., y Domínguez, E. (2001). *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos sudamericanos*. Recuperado de <http://www.insecta.bio.spbu.ru/z/pdf/DominguezHubbardPescadorMolineri2001p17.pdf>
- Fuentes, J. (2001). El fósforo, parámetro crítico de calidad de agua técnicas analíticas y de muestreo. En A. Apellido del presidente del congreso (Presidencia), XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Simposio o conferencia llevado a cabo en el congreso Nombre de la organización, Carabobo, Venezuela.
- Garbagnati, M., González, P., Antón, R., y Mallea, M. (2005). Características físico-químicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina. *Ecología Austral*, 15(1), 59-71. Recuperado de https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/ecologiaaustral/ecologiaaustral_v015_n01_p059.pdf
- García, F., y Rosales, V. (2018). *Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico*. Recuperado de http://ru.iiiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-Garc%C3%ADa-Miranda.pdf
- García, J., Sarmiento, L., Rodríguez, M., y Porras, L. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *UGCiencia*, 23, 47–62. doi: <http://10.18634/ugcj.23v.0i.659>
- Giacometti, J., y Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico 6, Serie Zoológica*, 6(2), 17-32. Recuperado de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie->

CALIDAD BIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

zoologica/article/download/1394/985

Gobernación de Boyacá y Secretaría de salud de Boyacá. (2013). Mapa de riesgo de la calidad del agua del municipio de Gachantivá- Boyacá. Recuperado de: https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/wp-content/uploads/sites/67/2014/07/images_Documentos_Salud_Publica_Ano_2014_AGUA_CONSUMO_HUMANO_MAPA_RIESGO_MAPA-DE-RIESGO-DE-GACHANTIVA.pdf

Gobernación de Boyacá. (2013). *Mapa de riesgo de la calidad del agua del municipio de Gachantivá- Boyacá*. Recuperado de https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Salud_Publica/Ano_2014/AGUA_CONSUMO_HUMANO/MAPA_RIESGO/MAPA%20DE%20RIESGO%20DE%20GACHANTIVA.pdf

González, A. (2016). *Hidrobiológicos Jurisdicción CORANTIOQUIA*. Recuperado de https://www.piraguacorantioquia.com.co/wpcontent/uploads/2016/11/Hidrobiologicos_Jurisdicci%C3%B3n_Corantioquia-1.pdf

González, S., Ramírez, Y., Meza, A., y Dias, L. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín científico*, 16(2), 135-148. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n2/v16n2a12.pdf>

HACH Company. (2017). ¿Qué es la conductividad? Recuperado de https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividadFinal.pdf

Hahn-vonHessberg, C., Toro, D., Grajales, A., Duque., G., y Serna L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y físicoquímicos, en la estación piscícola, universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. *Boletín científico*, 13(2), 89-105. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v13n2/v13n2a06.pdf>

Hanson, P., Springer, M., y Ramírez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Biología Tropical*, 58(4), 3-37. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00347744201000080001

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2006). Conductividad eléctrica en el agua. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2004). *Determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico modificación de azida*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). *Procedimiento de determinación de alcalinidad por potenciometría*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *Coliformes totales y e. Coli por el método de filtración por membrana en agar chromocult*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>
- Ladrera, R. (2012). *Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos*. (39). Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Los-macroinvertebrados-acu%C3%A1ticos-como-indicadores-del-estado-ecol%C3%B3gico-de-los-r%C3%ADos.pdf>
- Lozano, L. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral científico*, (7), 5-11. Recuperado de <https://doi.org/10.7550/rmb.45419>
Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2795397>
- Meneses, Y., Castro, M., y Jaramillo, A. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL y ABI. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299-302. doi: 10.15446/abc.v24n2.70716
- Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA). (2013). *Informe del estado del ambiente de Uruguay*. Recuperado de: https://www.dinama.gub.uy/oan/documentos/Informe_del_Estado_del_Ambiente_de_Uruguay_2013.pdf
- Molina, E., Hernández, L., y Gómez M. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua. comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista*

- de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v47n1/v47n1a14.pdf>
- Navarrete, N., Fernández, E., y Contreras, G. (2004). Abundancia de Quironómidos (Diptera: Chironomidae) en el bordo "JC" del norte del Estado de México en el periodo de secas. *Hidrobiológica*, 14(2), 157-160. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018888972004000200009&lng=es&tlng=es.
- Pinilla, G. (2000). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/260186467_Indicadores_biológicos_en_ecosistemas_acuáticos_continentales_de_Colombia_Compilación_bibliográfica
- Prat, N., y Munné, A. (2014). Biomonitorio de la calidad del agua en los ríos ibéricos: lecciones aprendidas. *Limnética*, 33(1), 47-64 (2014). doi: 10.23818/limn.33.05
- Ramírez, A., Fernández, N., y Solano, F. (2005). Dinámica fisicoquímica y calidad del agua de la microcuenca El volcán, municipio de Pamplona, Colombia. *Bitsua: revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 3(1), 5-16. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/903/90303101.pdf>
- Ramírez, A., Restrepo, R., y Cardeñosa, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008
- Ramírez, A., Restrepo, R., y Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135-153. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009
- Ramos, Y. (2018). *Evaluación de la calidad ecológica del río Muincha a través de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados con énfasis en Trichoptera, Ephemeroptera y Díptera. Turmequé-Boyacá*. (Tesis de maestría). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.up tc.edu.co/bitstream/001/2124/1/TGT-850.pdf>
- Rodríguez, C., y Silva, M. (2015). Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. *Pensamiento Actual*, 15(25), 85-97. Recuperado

- de https://www.researchgate.net/publication/287201352_Calidad_del_agua_en_la_microcuenca_alta_de_la_quebrada_Estero_en_San_Ramon_de_Alajuela_Costa_Rica
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. *Pensamiento actual*, 9(12-13), 125-134. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/2842/2764>
- Roldán, G. (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Recuperado de <https://www.ianas.or.g/docs/books/wbp13.pdf>
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia Uso del BMWP/Col. Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254. doi:<https://doi.org/10.18257/raccefy.335>
- Roldán, G. y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2012). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. CAR, Cundinamarca. Recuperado de: <http://www.ianas.com/docs/books/wbp12.pdf>
- Romero, J. (2006). Calidad del agua. Recuperado de: https://www.academia.edu/38972813/Calidad_del_Agua_ROMERO_ROJAS
- Rubio, M., Meza, A., Dias, L., y Walteros, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443-456. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39163/41024>
- Samboní, N., Carvajal, Y., y Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Secretaría de la Convención de Ramsar, (2010). *Inventario, evaluación y monitoreo: Marco Integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales. Manuales*

CALIDAD BIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA QUEBRADA CASIQUILLA, GACHANTIVÁ

- Ramsar para el uso racional de los humedales.* Recuperado de <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-13sp.pdf>
- Secretaría de salud de Boyacá. (2013). *Construcción del documento de análisis de situación de salud (ASIS 2013) con el modelo de los determinantes sociales en salud Gachantivá Boyacá.* Recuperado de https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/ASIS_2013/ASIS%20GACHANTIV%C3%81%202013.pdf
- Sganga, J. (2011). *Variabilidad espacial y estructura de las comunidades de Trichoptera (Insecta) en arroyos del Parque Provincial Salto Encantado del Valle del Cuñá-Pirú (Misiones, Argentina).* Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua evaluación y diagnóstico.* Recuperado de https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluaci%C3%B3n_y_diagn%C3%B3stico
- Soto, J. (2009). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería investigación y tecnología, 11(2)*, 167-177. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v11n2/v11n2a4.pdf>
- Swistock, B. (2020). *Bacterias coliformes.* Recuperado de <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA). Simposio llevado a cabo en Almería, España.*
- Terneus, E., Hernández, H., y Racines, M. (2012). Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza-Ecuador. *Ciencias, 16*, 31-45. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/267165585.pdf>
- Torres Y., Roldán, G., Asprilla, S., y Rivas, S. (2006). Estudio preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos en el río Tutunendo, Chocó, Colombia. *Academia Colombiana, 30(114)*, 67-76. Recuperado de http://www.accefyn.com/revista/Vol_30/114/114_67_76.pdf
- Universidad de Boyacá. (2016). Informe visita de campo curso de hidrobiología, Programa Ingeniería Ambiental. Tunja
- Universidad de Pamplona. (s.f.). *Índices de calidad (ICA's) y Índices de Contaminación (ICO's) del agua de importancia mundial.* Recuperado de <http://www.unipamplona>

.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf

Universidad del País Vasco. (s.f.). *Tratamiento de Aguas Ácidas. Prevención y Reducción de la Contaminación*. Recuperado de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_44.pdf

Valverde, N., Quintero, O., y Aguirre, N. (2009). Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Producción + Limpia*, 4(1), 45-60. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/277246992_Analisis_de_calidad_de_agua_de_la_quebrada_La_Ayura_con_base_en_variables_fisicoquimicas_y_macroinvertebrados_acuaticos

Wilches, W., Botero, M., y Cortés, F. (2013). Macroinvertebrados asociados a *Guzmania mitis* LB Smith (Bromeliacea) en dos fragmentos de robledal. *Colombia forestal*, 16(1), 5-20. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/download/3720/5926?inline=1>