



IDRC | CRDI

International Development Research Centre
Centre de recherches pour le développement international

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

GERENCIA TÉCNICA - FNC

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ

Acuerdo de Subvención

IDRC - FNC - Cenicafé

Convenio N° 107400-007

**AUMENTANDO LA RESILIENCIA A EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS
EN EL SECTOR CAFETERO COLOMBIANO**

INFORME FINAL

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL TERRITORIO CAFETERO A LA
DISPONIBILIDAD HÍDRICA**

Elaborado por

**Nelson Rodríguez Valencia, Jenifer Andrea Galeano Serna, Laura Vanessa Quintero
Yepes.**

Disciplina Poscosecha

Cenicafé, Febrero 16 del 2018

1. RESUMEN EJECUTIVO

Se construyó y evaluó un índice que permitiera medir el grado de vulnerabilidad del territorio cafetero de la zona central colombiana a la disponibilidad hídrica, en cantidad y calidad, ante amenazas tales como el cambio climático, el aumento de la población y el cambio en las actividades socio-económicas de los territorios.

El índice se construyó considerando aspectos tales como: el caudal ecológico y el caudal de calidad (según la normativa ambiental vigente en Colombia), el índice de falkenmark, el índice de calidad físico-químico del agua (ICA-NSF), el índice biológico BMWP/Col, el índice de calidad de hábitat (SVAP) y la población del área de influencia de los cuerpos de agua.

Para ello se seleccionaron en los municipios de Salamina (Caldas), Balboa y Santuario (Risaralda), los principales cuerpos de agua y se realizaron 4 campañas de monitoreo para determinar caudales mínimos, caudales medios y la calidad físico-química, biológica y de hábitat de las fuentes hídricas. Los cuerpos de agua seleccionados fueron: el Río Chambery en Salamina, Caldas; la Quebrada El Tabor en Balboa, Risaralda y la Quebrada La Yaruma en Santuario, Risaralda.

Los valores del índice de calidad de hábitat (SVAP) variaron entre un valor de 4,20 (categoría de calidad mala), en el P3 del monitoreo 2 del Río Chambery y un valor de 7,8 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 1 del río Chambery.

Los valores del índice de calidad biológico (BMWP/Col) variaron entre un valor 21 (categoría de calidad mala), en el P2 del monitoreo 1 de la Quebrada La Yaruma, Risaralda y un valor de 115 (categoría de calidad buena), en el P3 del monitoreo 4 en La Quebrada El Tabor en Balboa, Risaralda.

Los valores del índice de calidad físico-químico (ICA-NSF) variaron entre un valor de 56 (categoría de calidad media), en el P3 del monitoreo 2 del Río Chambery, Salamina, Caldas y un valor de 81 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 4 en La Quebrada El Tabor en Balboa, Risaralda.

Los valores del índice global de calidad variaron entre un valor de 0,38 (categoría de calidad mala), en el P3 del monitoreo 2 del Río Chambery, Salamina, Caldas y un valor de 0,77 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 4 en La Quebrada La Yaruma en Santuario, Risaralda.

Durante las cuatro campañas de monitoreo, el caudal mínimo osciló entre 0,005 m³/s (punto 1, campaña 4) en la Quebrada El Tabor, Balboa y 4,050 m³/s (punto 3, campaña 2) en el Río Chambery, Salamina y un caudal medio que osciló entre 0,011 m³/s (punto 1, campaña 4) en la Quebrada El Tabor, Balboa y 7,079 m³/s (punto 3, campaña 2), en el Río Chambery, Salamina.

Los valores del índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad hídrica variaron entre un valor de 0,32 (categoría de vulnerabilidad alta), en el transecto P1-P2 del monitoreo 4 en la microcuenca Quebrada El Tabor, Balboa, Risaralda y un valor de 10,68 (sin

vulnerabilidad), en el transecto P1-P2 del monitoreo 2 en la microcuenca del Río Chambery, Salamina, Caldas.

Los resultados permiten determinar que no se presenta vulnerabilidad a la disponibilidad hídrica de la población asentada en la microcuenca del río Chambery en Salamina, Caldas, siendo mayor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y medias de la microcuenca. La tendencia es un mayor valor del índice en la época en la cual no hay cosecha de café, probablemente por la menor extracción de agua en la microcuenca y la menor generación de aguas residuales en el territorio.

Para la población asentada en la microcuenca de la Quebrada El Tabor, en Balboa, Risaralda, los resultados permiten determinar que existen períodos de tiempo y transectos en el cuerpo del agua en los cuales se presenta vulnerabilidad baja, media y alta a la disponibilidad del recurso hídrico, siendo menor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y bajas de la microcuenca. Los menores valores del índice se encontraron en la época de cosecha de café, en la cual hay mayor extracción de agua en la microcuenca y mayor generación de aguas residuales en el territorio.

Para la población asentada en la microcuenca de la Quebrada La Yaruma, en Santuario, Risaralda, los resultados permiten determinar que existen períodos de tiempo y transectos en los cuales se presenta vulnerabilidad baja a la disponibilidad del recurso hídrico, siendo menor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y bajas de la microcuenca.

Se puede concluir que la generación de un índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad hídrica que integre variables como el caudal ecológico, el caudal de calidad, la calidad físico-química, biológica y de hábitat de los cuerpos de agua y que incorpore la población que habita en los cuerpos de agua se constituye en una herramienta eficaz para evaluar el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica y para generar y establecer estrategias que permitan disminuir el riesgo de vulnerabilidad a la disponibilidad hídrica en los territorios.

La aplicación de un modelo de Gestión integral del recurso hídrico que periódicamente esté evaluando, en campo, la oferta hídrica en cantidad y calidad es fundamental para disminuir el riesgo de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad hídrica, no sólo ante amenazas como el cambio climático, sino también ante amenazas como el incremento de la población y el cambio en las actividades socio-económicas de los territorios.

Con el fin de disminuir el riesgo de vulnerabilidad a la disponibilidad de agua en los territorios, es indispensable realizar la protección de toda la microcuenca, parte alta, media y baja, respetando las rondas hídricas, reforestando las riberas y manteniendo la cobertura del suelo, como una contribución a conservar la cantidad y la calidad del agua.

Asimismo, es de vital importancia el cuidado de los recursos hídricos de la región, a partir del uso racional del recurso agua en los procesos productivos y el reúso del agua como estrategia para disminuir la presión sobre el recurso superficial, no sólo en lo relacionado con la cantidad de agua presente en la cuenca (dado que se disminuye su extracción), sino también en lo relacionado con la calidad del agua en la cuenca (dado que al no arrojar aguas residuales se disminuye el deterioro de la calidad del agua en la fuente).

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN EJECUTIVO	2
2. INTRODUCCIÓN	5
3. OBJETIVOS.....	6
GENERAL	6
ESPECÍFICOS	6
4. METODOLOGÍA	7
4.1. Ubicación de los puntos de monitoreo	7
4.2. Campañas de monitoreo	10
4.3. Parámetros evaluados en los Monitoreos	11
4.3.1. Tipo de muestra	11
4.3.2. Determinación del caudal	12
4.3.3. Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua	13
4.3.4. Evaluación de la calidad biológica del agua	14
4.3.5. Evaluación de la calidad de hábitat en la microcuenca	15
4.4. Generación de índices de la calidad del agua.....	15
4.4.1. Generación del Índice de calidad fisicoquímica ICA-NSF	15
4.4.2. Generación del Índice de calidad biológica BMWP/Col	15
4.4.3. Generación del índice de valoración de hábitat SVAP	17
4.4.4. Índice Global de calidad del agua	19
4.5. Índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad de agua	20
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	22
5.1. Resultados Análisis Visual de calidad de hábitat.....	22
• Río Chambery – Salamina, Caldas	22
• Quebrada El Tabor – Balboa, Risaralda	23
• Quebrada La Yaruma – Santuario, Risaralda	25
5.2. Resultados de la evaluación de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos	26
5.3. Resultados de parámetros físico-químicos	38
5.4. Resultados del índice de calidad de hábitat (SVAP).....	43
5.5. Resultados del Índice biológico de calidad (BMWP/Col)	46
5.6. Resultados del índice físico-químico de calidad de agua, ICA-NSF	50
5.7. Resultados del Índice Global de Calidad	53
5.8. Resultados Determinación de caudales	56
5.9. Resultados Índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad de agua (IVTDH)	57
6. CONCLUSIONES	61
7. RECOMENDACIONES	62
8. BIBLIOGRAFÍA.....	63

2. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental para la vida en el planeta y para las diferentes actividades socioeconómicas de las poblaciones, de allí que la permanencia de las personas en un determinado territorio esté muy ligada a la disponibilidad de agua, tanto en cantidad como en calidad de la misma.

La disponibilidad de agua es indispensable para alcanzar el desarrollo sostenible de las sociedades. El cambio climático, la variabilidad climática y la contaminación atmosférica influyen de forma directa en la disponibilidad del agua, cuya oferta espacio-temporal es variable. La agricultura es una de las actividades productivas que genera una mayor demanda de agua y es una de las principales actividades económicas en nuestro país.

En el caso de la región cafetera colombiana, la disponibilidad de agua juega un papel fundamental para la producción agrícola (cultivos de café y cultivos asociados a este, como el plátano, el maíz, el aguacate, la producción frutícola y hortícola, entre otras), la producción animal (porcinos, aves y peces) y para la permanencia de los productores en sus tierras (suministro de agua para consumo humano y para actividades domésticas).

La mayor parte del área sembrada en café, en Colombia, se encuentra establecida en la macrocuenca Cauca-Magdalena, en donde se concentra alrededor del 70% de la población colombiana y cuenta sólo con el 13,5% de la oferta hídrica nacional.

Cuando los territorios se encuentran amenazados por la poca oferta hídrica, se generan cambios en las actividades económicas que conllevan a cambios sociales y en determinados casos migración de la población de un territorio a otro.

A través de la presente investigación se buscó evaluar la vulnerabilidad de algunos territorios presentes en la zona central cafetera a la disponibilidad hídrica, mediante la construcción de un índice de vulnerabilidad, con el fin de generar estrategias que les permitan a los pobladores mantener su actividad económica y permanecer en los territorios.

El índice de vulnerabilidad a la disponibilidad hídrica se construyó considerando el caudal ecológico, en los cuerpos de agua de Colombia (Según la Resolución 0865 del 2004 del MAVDT), el índice de Falkenmark, que es un indicador de la disponibilidad de agua per cápita, que permite detectar regiones con crisis agudas del agua (Falkenmark, 1999) y un indicador global de calidad del agua construido considerando la calidad físico-química (ICANSF), la calidad biológica (BMWP/Col) y de calidad de hábitat (SVAP).

Dentro de las estrategias a implementar para disminuir el índice de vulnerabilidad del territorio cafetero a la disponibilidad hídrica se tiene el cuidado de los recursos hídricos de la región, a partir de la protección de las fuentes hídricas, la reforestación, las coberturas del suelo, el uso racional del recurso agua en los procesos productivos y el reúso del agua como estrategia para disminuir la presión sobre el recurso superficial, no sólo en lo relacionado con la cantidad de agua presente en la cuenca (dado que se disminuye su extracción), sino también en lo relacionado con la calidad del agua en la cuenca (dado que al no arrojar aguas residuales se disminuye el deterioro de la calidad del agua en la fuente).

3. OBJETIVOS

GENERAL

- Construir y evaluar un índice que permita evaluar el grado de vulnerabilidad del territorio cafetero de la zona central colombiana a la disponibilidad hídrica, ante los cambios presentados en la oferta de la cantidad y calidad del agua por efecto del cambio climático.

ESPECÍFICOS

- Seleccionar para los municipios de Salamina (Caldas), Balboa (Risaralda) y Santuario (Risaralda) los cuerpos de agua de mayor importancia en la actividad socio-económica de los pobladores.
- Realizar, en los cuerpos de agua seleccionados, campañas periódicas de monitoreo de la cantidad de agua y de su calidad mediante la determinación de caudales mínimos, caudales medios y la determinación de índices que relacionen sus características físico-químicas (índice ICA-NSF), sus características biológicas (índice BMWP/Col) y sus características de calidad de hábitat (SVAP).
- Estimar, para los cuerpos de agua seleccionados, la población asentada alrededor de la microcuenca y calcular el índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad hídrica.
- Interpretar los valores obtenidos del índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad hídrica, en las diferentes campañas de monitoreo, en los 3 cuerpos de agua seleccionados y proponer estrategias que contribuyan a la disminución de este índice de vulnerabilidad.

4. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación de los puntos de monitoreo

La zona de estudio fueron los municipios de Salamina (Caldas), Balboa y Santuario (Risaralda) y en estos sitios se seleccionaron como los cuerpos de agua de mayor importancia el Río Chambery (Salamina), la Quebrada El Tabor (Balboa) y la Quebrada la Yaruma (Santuario), por ser fuentes abastecedoras de agua para actividades domésticas, agrícolas, industriales, y de producción animal, entre otras, muy impactadas tanto por la extracción del recurso como por la contaminación proveniente de vertimientos del sector agropecuario y doméstico, principalmente.

En cada cuerpo de agua, se referenciaron dentro de un sistema de coordenadas, tres puntos de monitoreo (parte alta, media y baja de la microcuenca).

En el municipio de Salamina, la cuenca hidrográfica del Río Chambery, se encuentra ubicada al norte del departamento de Caldas, nace en el municipio de Aránzazu, en la vereda El Diamante, y desemboca en el Río San Lorenzo, recorre parcialmente las veredas La Unión, Buenos Aires, El Chamizo, Chambery, Los Mangos y Palermo, este cauce es la cuenca hídrica más importante del municipio de Salamina, con un aporte superior al 50% de todas las aguas (Plan Ordenamiento Territorial 2001, Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015).

La referenciación de los puntos de monitoreo se condensan en la Tabla 1 y se ubican en la Figura 1.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de monitoreo en el Río Chambery

LUGAR	COORDENADAS	ALTITUD
Rio Chambery Punto 1	N 5°21'7,4"	1500 msnm
	W 75°29'36,9"	
Rio Chambery Punto 1	N5°23'30,03"	1337 msnm
	W75°29'58,26"	
Rio Chambery Punto 3	N 5°25'13,1"	1140 msnm
	W 75°29'47,5"	

De acuerdo con las proyecciones del DANE, para la población rural del año 2015, publicada en el documento “*Estimación y proyección de población nacional y municipal total por área 1985-2020*”, la población del área de estudio es de 6624 habitantes.

De acuerdo con García, 2016, para el año 2015 el número de fincas en el municipio de Salamina, Caldas, fue de 1595, ocupando un área total de 4794 ha. Lo anterior permite calcular una densidad poblacional entre 4 y 5 personas/finca.

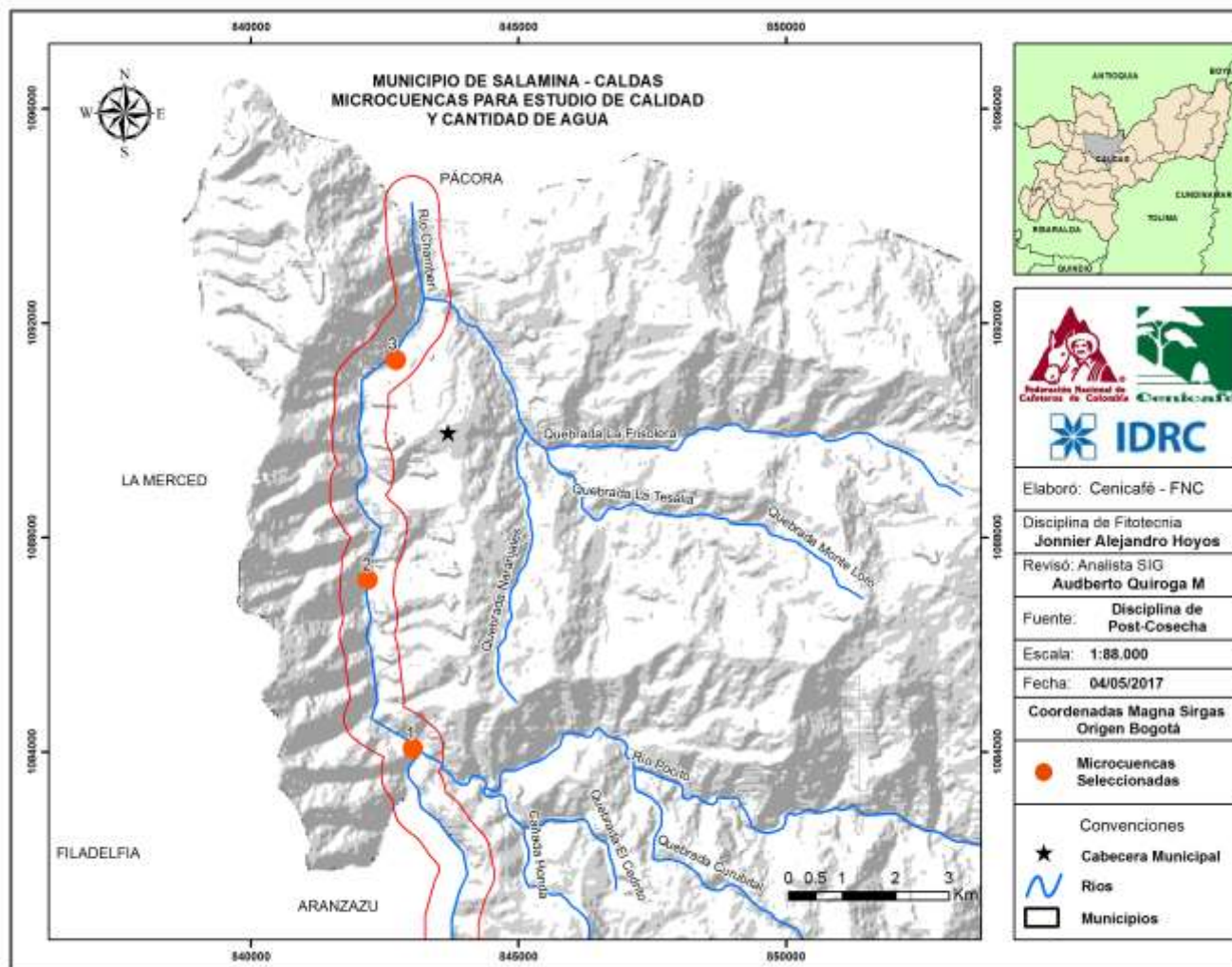


Figura 1. Ubicación geográfica puntos de monitoreo, Río Chambery, municipio de Salamina, Caldas.

En el municipio de Balboa (Risaralda), el área de estudio fue la microcuenca de la Quebrada El tabor, la cual nace muy cerca de la cabecera municipal, haciendo su recorrido en sentido Oeste-Este por el margen izquierdo (CARDER, 2006), los puntos de muestreo establecidos y monitoreados, se encuentran geo-referenciados en la Tabla 2 y en la Figura 2.

Tabla 2. Coordenadas de los puntos de monitoreo en La Quebrada El Tabor

LUGAR	COORDENADAS	ALTITUD
El Tabor Punto 1	N04°55'9623"	1398 msnm
	W 75°57'4550"	
El Tabor Punto 2	N04°55'6538"	1195 msnm
	W 75°57'0913"	
El Tabor Punto 3	N04°54'2281"	987 msnm
	W 75°58'8596"	

Alrededor de la microcuenca se estimó la población presente en la zona de influencia de 1000 metros, encontrándose en dicha área 127 fincas cafeteras (alrededor de 635 personas) que hacen uso activo y ejercen un impacto directo sobre la microcuenca.

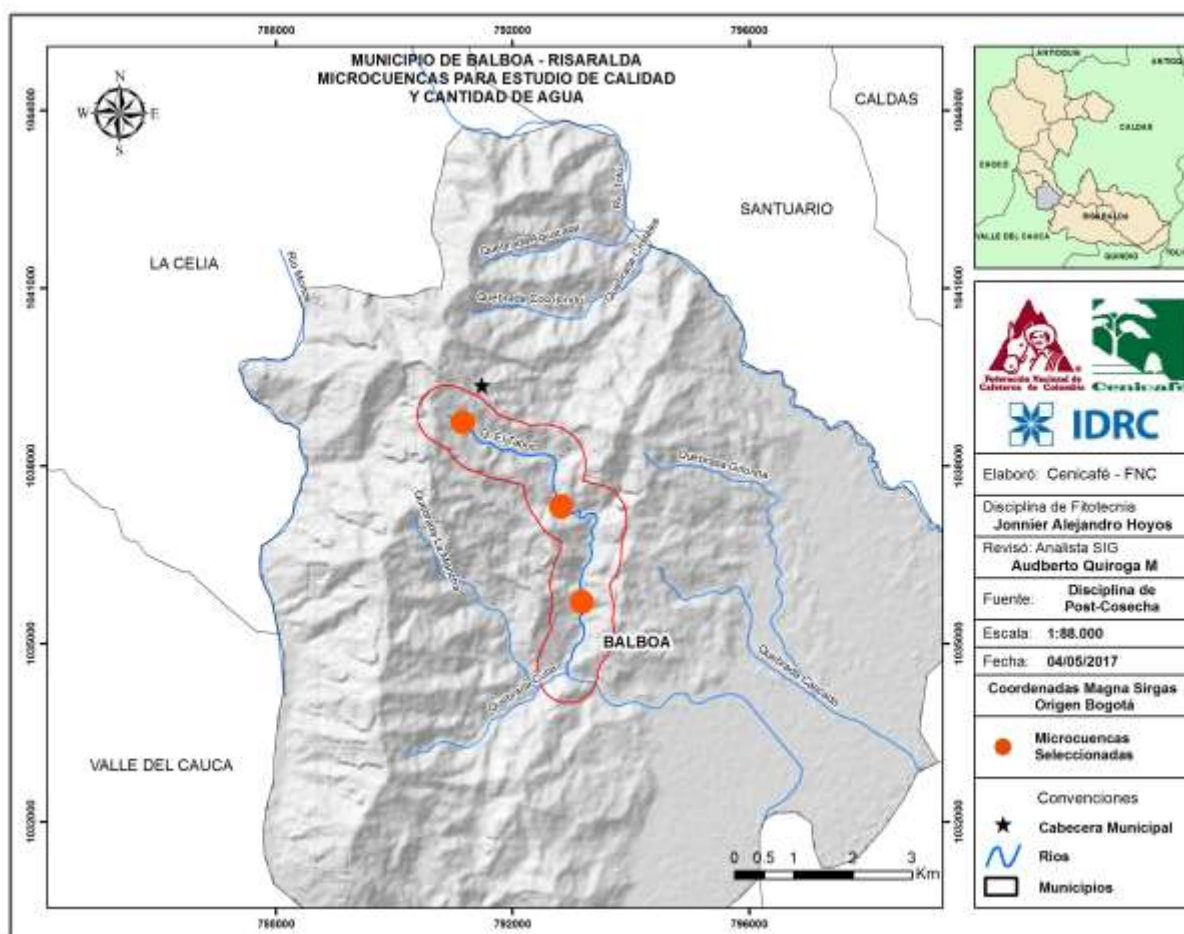


Figura 2. Ubicación geográfica puntos de monitoreo, Quebrada El Tabor, municipio de Balboa, Risaralda.

En el municipio de Santuario, Risaralda, el área de estudio fue la microcuenca de la Quebrada La Yaruma, esta microcuenca recorre las veredas el Yarumo, el Brillante, Pueblvano, San Gabriel, la Bretaña y Limones con un área de 1424 hectáreas (Plan de Ordenamiento Territorial, Municipio de Santuario, 2000). Los puntos de muestreo establecidos y monitoreados, se encuentran geo-referenciados en la Tabla 3 y en la Figura 3.

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de monitoreo en La Quebrada La Yaruma

LUGAR	COORDENADAS	ALTITUD
La Yaruma Punto 1	N5°02 15,2"	1601 msnm
	W75°59 05,7"	
La Yaruma Punto 2	N05°02 09"	1228 msnm
	W75° 58 13,5"	
La Yaruma Punto 3	N05°02 36,2"	1055 msnm
	W75° 57 19,0"	

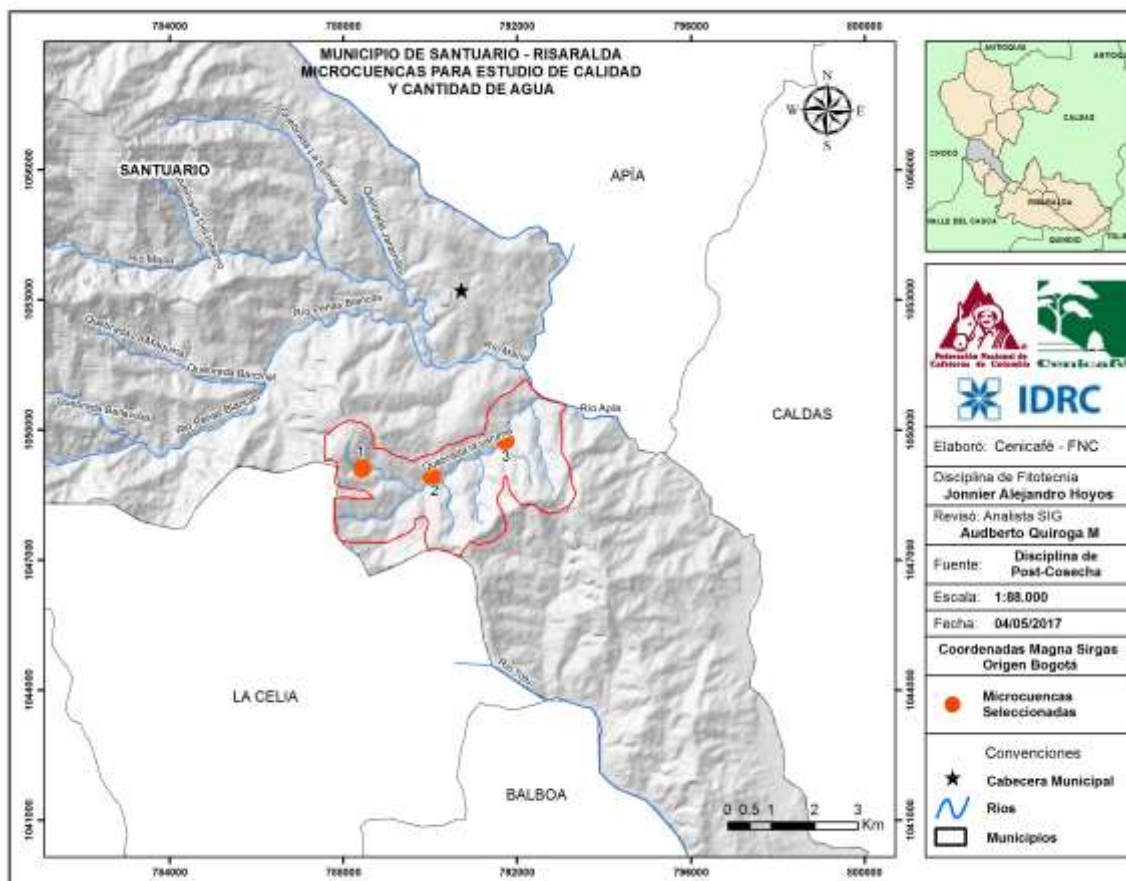


Figura 3. Ubicación geográfica puntos de monitoreo, Quebrada La Yaruma, municipio de Santuario, Risaralda.

Alrededor de la microcuenca se estimó la población presente en la zona de influencia de 1000 metros, encontrándose en dicha área 179 fincas cafeteras (alrededor de 895 personas) que hacen uso activo y ejercen un impacto directo sobre la microcuenca.

4.2. Campañas de monitoreo

En la Tabla 4 se presentan las fechas de monitoreo en las 3 microcuencas seleccionadas, especificando si la zona se encontraba en época de cosecha de café y especificando la condición climática predominante durante el monitoreo.

Tabla 4. Fechas de las campañas de monitoreo en las microcuencas seleccionadas.

Municipio	Monitoreo	Fecha de monitoreo	cosecha de café en la zona	Condición climática
Salamina	1	Diciembre 6 al 8 del 2016	Sí	Lluvia continúa en el día.
	2	Marzo 13 al 16 del 2017	No	Lluvias en horas de la noche, con días parcialmente nubados
	3	Julio 11 al 13 del 2017	No	Días soleados y cielo despejado
	4	Octubre 18 al 20 del 2017	Sí	Días soleados y cielo despejado
Balboa	1	Febrero 7 al 9 del 2017	No	Días soleados y cielo despejado
	2	Abril 4 al 6 del 2017	Sí	Días soleados y cielo despejado
	3	Junio 13 al 15 del 2017	No	Lluvias parciales y cielo nubado
	4	Septiembre 19 al 21 del 2017	Sí	Días soleados y lluvias parciales
Santuario	1	Febrero 14 al 16 del 2017	Sí	Días soleados y cielo despejado
	2	Abril 25 al 27 del 2017	No	Lluvias en la noche y días parcialmente nubados
	3	Agosto 1 al 3 del 2017	No	Días soleados y cielo despejado
	4	Septiembre 26 al 28 del 2017	Sí	Días soleados con lluvias parciales

4.3. Parámetros evaluados en los Monitoreos

La evaluación de cantidad y calidad del agua en las microcuencas cafeteras objeto de estudio, requirió de un monitoreo, con caracterización *In situ* y *Ex situ*, valoración de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y biológicos, además, del empleo de diversos criterios para la evaluación visual de calidad de hábitat.

4.3.1. Tipo de muestra

El muestreo de los cuerpos de agua de la zona cafetera se realizó tanto en época de cosecha de café (principal y de mitaca dependiendo de la zona), en los meses pico de cosecha, como en la época sin cosecha. El objetivo del muestreo en épocas de cosecha es determinar la calidad del agua en función del factor “beneficio húmedo del café y manejo de subproductos”. La medición en la época de no cosecha sirve para comparar la calidad del agua en épocas de cosecha y sin cosecha.

Los cuerpos de agua se muestrearon cada hora, durante cuatro horas, tomando una muestra integrada, es decir, conformada por la mezcla de muestras puntuales tomadas en nueve puntos diferentes, de forma simultáneamente. Este tipo de muestreo integrado permite saber cómo varía la composición del cuerpo de agua de acuerdo al ancho y a la profundidad.

Para realizar el muestreo, se utilizó una cinta métrica para medir el ancho de orilla a orilla de la corriente; el ancho se dividió en cuatro incrementos iguales, de manera que se obtuvieran

tres verticales para la toma de la muestra, esto es a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de la sección transversal del cuerpo de agua. En cada vertical se tomaron muestras puntuales a tres profundidades (0,2; 0,6 y 0,8 m). En la Figura 4 se presenta el esquema para la toma de muestras.

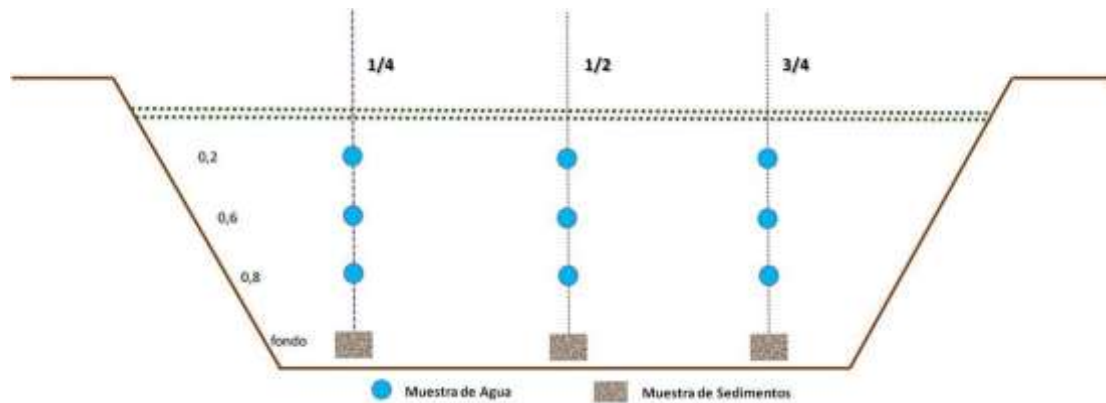


Figura 4. Puntos para toma de muestras

4.3.2. Determinación del caudal

El primer paso consistió en verificar que la sección de muestreo estuviera situada en un tramo recto de la corriente y que la longitud del tramo tuviera un mínimo equivalente a cinco veces el ancho de la sección, teniendo la precaución de que el lecho del cuerpo de agua estuviera libre de obstáculos (troncos de árboles, rocas grandes y vegetación, entre otros), según la normativa establecida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2002).

Para realizar la medición del caudal se definió un número de verticales a lo ancho del cauce, de modo que pudiera precisarse la variación de la configuración del lecho de la corriente y la variación vertical y horizontal de la velocidad. Se establecieron secciones parciales por las cuales no pasara más del 10% del caudal total (Figura 5).

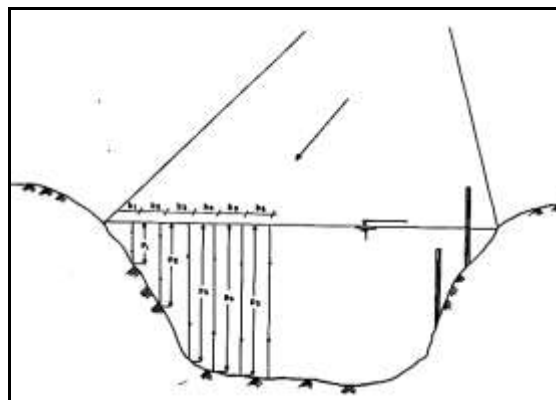


Figura 5. Divisiones a lo ancho del cauce

Para realizar las mediciones de velocidad en la corriente, se utilizó el método de los cinco puntos. Éste se aplica ubicando un molinete, ligeramente por debajo de la superficie, al 20%, 60% y 80% de la profundidad y ligeramente por encima del fondo de cada vertical, dándole diferentes pesos a cada uno de los porcentajes referidos como se observa en la Ecuación.

$$V_{media} = 0.1 (V_{super} + 3V_{0.2} + 2V_{0.6} + 3V_{0.8} + V_{fondo})$$

Para calcular el caudal parcial se multiplicó el área de cada sección por la velocidad media de la sección, que corresponde al caudal que pasa por cada tramo del cauce.

$$Q_p = A_p * V_{mp}$$

Donde:

Q_p = Caudal parcial

A_p = Área parcial

V_{mp} = Velocidad media de la sección parcial.

Los caudales parciales se sumaron para obtener el caudal total y con la relación del caudal total (Q_T) y el área total (A_T) se obtuvo la velocidad media (V_m) de la sección de aforos.

En la Figura 6 se muestra un aspecto de la determinación del caudal



Figura 6. Medición de caudal mediante el uso de un molinete

4.3.3. Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua

La medición de parámetros en el campo (pH, Oxígeno Disuelto conductividad, turbidez y temperatura) se realizó mediante equipos portátiles, tales como sondas multiparamétricas, medidores de pH y conductímetros.

Todas las muestras de un mismo punto de muestreo se almacenaron en la misma nevera, para evitar confusiones con muestras de otros puntos; los recipientes se colocaron en posición vertical, con suficientes bolsas de hielo intercaladas, de tal manera que se alcanzara una temperatura cercana a los 4°C.

Para las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas se utilizaron las metodologías consignadas en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WPCF, 1992).

- Caracterización fisicoquímica *In situ*: Medición con sondas multiparamétricas portátiles de parámetros como pH, Oxígeno Disuelto, Porcentaje de saturación de oxígeno, Conductividad, Turbidez y Temperatura.
- Caracterización fisicoquímica y microbiológica *Ex situ*: Nitratos, Fosfatos, DQO, Sólidos Totales y Coliformes fecales.



Figura 7. Medición parámetros físico-químicos *in situ*.

4.3.4. Evaluación de la calidad biológica del agua

Se realizó mediante la captura de los macroinvertebrados, los cuales se muestrearon dentro de un tramo aproximado de 30 m de longitud de la corriente hídrica, para ello se utilizaron redes tipo Surber (para tramos de corriente fuerte) y D-net (para cuerpos de agua con poca corriente), de acuerdo con las condiciones físicas y de profundidad, con el fin de obtener información cuantitativa, realizando tres réplicas por tipo de sustrato (micro hábitats: sustrato rocoso, sedimento fino, hojarasca y orilla con vegetación).

En el campo se retiraron las gravas, piedras y restos orgánicos que se encontraron en la red, y se realizaron lavados sucesivos filtrando en la red hasta que la muestra quedó limpia.

Las muestras se identificaron hasta el mayor nivel taxonómico posible, utilizando las claves taxonómicas de Domínguez *et al.*, 2009 y Prat *et al.*, 2011.

4.3.5. Evaluación de la calidad de hábitat en la microcuenca

Se estableció la sección a valorar, con una longitud 12 veces el ancho promedio del cauce, recorriendo aguas arriba y aguas abajo cada orilla, según la accesibilidad. Luego se aplicó el protocolo Stream Visual Assessment Protocol (SVAP) (USDA, 2012).

El índice de valoración de la calidad de agua (SVAP) provee un diagnóstico significativo en cuanto al conocimiento de la condición del hábitat ripario y calidad hídrica, además de servir para monitorear estas variables a largo plazo, al momento de implementar acciones de manejo tendientes al mejoramiento de estas condiciones.

Este protocolo aplica un sistema de puntuación que evalúa 15 variables, siendo un método que no requiere equipos o instrumentos de alta tecnología para su uso, es replicable y puede ser fácilmente desarrollado por personal no experto (Tabla 5).

4.4. Generación de índices de la calidad del agua

4.4.1. Generación del Índice de calidad fisicoquímica ICA-NSF

Es un índice multiparámetro que utiliza nueve parámetros (Demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, cambio de Temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno, coliformes fecales, contenido de nitratos y fosfatos, pH y turbidez).

Para la determinación del índice de calidad se transforman los valores de estas variables para obtener unos valores numéricos que se conocen como valores de calidad (para ello se utilizan modelos matemáticos) y estos valores se multiplican por un valor de ponderación (este valor está relacionado con la importancia del parámetro evaluado); la sumatoria de este producto permite calcular el valor de la calidad del agua en un rango entre 0 y 100 (Tablas 6 y 7), donde 0 representa calidad de agua muy pobre y 100 representa calidad de agua excelente.

4.4.2. Generación del Índice de calidad biológica BMWP/Col

El *Biological Monitoring Working Party* (BMWP), modificado de Roldán por Álvarez (2005), es un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados como bioindicadores. Este índice se basa en la presencia o ausencia de los organismos, identificados hasta nivel de familia.

Se aplica la metodología implementada por Alba-Tercedor *et al.*, 2004; Prat *et al.*, 2009; Sermeño *et al.*, 2010; Zúñiga, 2009.

Entre los macroinvertebrados acuáticos hay especies muy tolerantes a la contaminación del agua y otras muy susceptibles o que no la toleran. Con este método se asigna un puntaje a los organismos encontrados en el agua, que va desde uno (1) a diez (10) (Tabla 8), la mayor o menor puntuación asignada a un organismo está en función de su mayor o menor sensibilidad a la contaminación orgánica y con la suma de los puntajes obtenidos y la ayuda de una tabla de referencia (Tabla 9) puede determinarse la calidad del agua en diferentes zonas de la microcuenca.

Tabla 5. Criterios para la evaluación visual del hábitat.

Variables	Valores				
	10	7	5	3	1
1. Apariencia del agua	Muy clara	Algo turbia	Moderadamente turbia	Turbia	Muy turbia todo el tiempo
2. Sedimentos (remover el fondo en rápidos)	El agua se mantiene clara	2 s mientras se aclara el agua	5 s mientras se aclara el agua	8 s mientras se aclara el agua	No se aclara el agua
3. Zona ribereña (ancho y calidad). Evaluar primero una orilla, luego la otra, sumar y dividir por dos	Bosque primario en toda la orilla	Parches de algún tipo de árboles	Franjas de pocos árboles	Plantaciones en las orillas	Potreros en las orillas
4. Sombra. Evaluar primero una orilla, luego la otra, sumar y dividir por dos	100% de sombra sobre el cauce	75% de sombra sobre el cauce	50% de sombra sobre el cauce	25% de sombra sobre el cauce	No hay sombra
5. Pozas	Abundancia de todo tipo de pozas, de 1 m de profundidad en promedio	Poca presencia de pozas (3-4), menos variedad en profundidad	No aplica	Presencia de pozas no profundas (2-4)	No hay pozas, las antiguas están llenas de sedimentos
6. Condición del cauce	Cauce natural, no hay degradación ni sedimentación	Evidencia de alteración en el cauce, pero se está recuperando	No aplica	El cauce ha sido modificado	El cauce está completamente modificado
7. Alteración hidrológica (desbordes)	Ocurren una o varias veces al año	Ocurren cada uno o dos años	No aplica	Ocurren cada tres a cinco años	No hay desbordes
8. Refugio (hábitat) para peces	Más de siete tipos de refugios	Seis o siete tipos de refugios	cuatro o cinco tipos de refugios	Dos o tres tipos de refugios	Uno o ningún tipo de refugio
9. Refugio (hábitat) para macroinvertebrados	Cinco o más tipos de refugios	Tres o cuatro tipos de refugios	No aplica	Uno o dos tipos de refugios	Uno o ningún tipo de refugio
10. Estabilidad de las orillas. Evaluar primero una orilla, luego la otra, sumar y dividir por dos	Estables. Protegida por las raíces de los árboles	Moderadamente estable. Las orillas se erosionan en las curvas	No aplica	Inestables. Algunas raíces expuestas y árboles cayendo	Inestables. Muchos árboles cayendo
11. Barrera al movimiento de peces (en todo el río o quebrada)	No hay barreras	Obstrucciones hechas por el ser humano	No aplica	Alcantarillas o puentes	Represas o desviaciones del agua
12. Presión de pesca	Nadie pesca allí	La pesca es poco frecuente, no se usan redes	No aplica	Se pesca con anzuelo o atarraya, pocas veces con veneno	Pesca indiscriminada con veneno y trasmallo
13. Presencia de desechos sólidos	No hay evidencia de basura	Presencia de desechos sólidos	Presencia de desechos sólidos (uno o dos tipos)	Presencia moderada de basuras (más de tres tipos)	Abundancia de basuras de todo tipo
14. Presencia de estiércol	No hay evidencia cerca del río	Ganado en las riberas sin acceso al río	No aplica	Estiércol o ganado en el río	Mucho estiércol o tuberías que descargan aguas negras
15. Aumento de nutrientes de origen orgánico	No hay algas filamentosas	Crecimiento moderado de algas	No aplica	Abundancia de algas filamentosas, aguas verdes	Exceso de algas, aguas verdes, celestes, grises o cafés

Tabla 6. Ponderación del índice de la calidad fisicoquímica y microbiológica -ICA NSF

Variable	Unidades	Factor
Oxígeno disuelto	Porcentaje de saturación	0,17
Coliformes fecales	Colonia/100 mL	0,16
pH	Unidades	0,11
DBO ₅	ppm	0,11
Cambio de temperatura	°C	0,10
Fosfatos	ppm	0,10
Nitratos	ppm	0,10
Turbidez	(unidades nefelométricas) NTU	0,08
Sólidos totales	ppm	0,07

Tabla 7 Clasificación del nivel de calidad del agua, según, ICA-NSF

Rango	Nivel de Calidad
Azul-Excelente	91-100
Verde- Buena	71-90
Amarillo-Media	51-70
Naranja- mala	26-50
Rojo-muy mala	0-25

4.4.3. Generación del índice de valoración de hábitat SVAP

El protocolo SVAP evalúa el hábitat físico de un río o quebrada mediante la asignación de puntajes entre uno y diez, para esta evaluación se usan 15 parámetros, el proceso consiste en calificar estos 15 parámetros aplicando puntajes.

Luego de realizados los registros para cada uno de los puntos de muestreo valorados, se realizan los cálculos del índice para cada uno de éstos, según la fórmula de **Puntaje total/número de criterios evaluados**. Finalmente, para cada microcuenca se determina el promedio del valor obtenido a través de los dos puntos de muestreo considerados. A cada valor final del índice se le da un rango de calidad según el valor resultante en este promedio

En la Tabla 10 se presentan los parámetros puntuables y en la Tabla 11 las categorías de valoración consideradas por el índice SVAP.

Tabla 8. Puntajes asignados a las diferentes familias de macroinvertebrados para la obtención del índice BMWP/Col (modificado de Roldán 2003, en Álvarez 2005).

Familias	Puntajes
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Griptopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelpusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, Glossiphoniidae, Halplidae, Hydridae, Muscidae, Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae	2
Haplotaxida, Tubificidae	1

Tabla 9. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP/Col

Clase	Calidad	Valor del BMWP	Significado	Color
1	Buena	>150 123-149	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas	Azul
2	Aceptable	71-122	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
3	Dudosa	46-70	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
4	Crítica	21-45	Aguas muy contaminadas	Naranja
5	Muy crítica	<20	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Tabla 10. Criterios para determinar la calidad del agua según el indicador SVAP

CRITERIO/VARIABLE
1. Apariencia del agua
2. Sedimentos
3. Zona ribereña
4. Sombra
5. Pozas
6. Condición del cauce
7. Alteración hidrológica (desbordes)
8. Hábitat para peces
9. Hábitat para macroinvertebrados acuáticos
10. Estabilidad de las orillas
11. Barreras al movimiento de peces
12. Presión de pesca
13. Presencia de desechos sólidos
14. Presencia de estiércol
15. Aumento de nutrientes de origen orgánico (presencia de algas filamentosas)
Puntaje total/# criterios evaluados

Tabla 11. Clasificación de las aguas de acuerdo con el índice SVAP

VALOR SVAP	CALIDAD
9.0-10	EXCELENTE
7.0-8.9	BUENA
5.0-6.9	REGULAR
3.0-4.9	MALA
1-2.9	MUY MALA

4.4.4. Índice Global de calidad del agua

Es conformado por la sumatoria de los índices de calidad fisicoquímica (dividiendo este entre 100), de calidad biológica (dividiendo este entre 123) y de calidad de hábitat (dividiendo este entre 10), y luego dividiendo el valor total obtenido entre 3

$$ICA_{Global} = (ICA-NSF/100 + BMWP/123 + SVAP/10)/3$$

En la Tabla 12 se presentan las categorías de valoración consideradas por el índice global de calidad.

Tabla 12. Clasificación de las aguas de acuerdo con el índice global de calidad

ICA GLOBAL	CLASIFICACIÓN
0,90-1,0	Excelente
0,70-0,89	Buena
0,50-0,69	Media
0,30-0,49	Regular
0-0,29	Mala

4.5. Índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad de agua.

De acuerdo con la Resolución 0865 del 2004 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en su artículo 1°, se debe adoptar la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales, desarrollado por el IDEAM.

Esta metodología establece, para la región andina de Colombia, que la oferta hídrica se debe afectar por el 25%, correspondiente a la condición de calidad media. Adicionalmente, la resolución establece que se debe afectar la oferta hídrica con el valor del caudal ecológico, calculado como el 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

Marlin Falkenmark, generó los conceptos de tensión hídrica y de escasez de agua mediante un índice de las necesidades de agua dulce *per capita*; estimando una necesidad mínima de 100 L/hab-día para uso doméstico, y entre 5 y 20 veces más para usos agrícolas e industriales.

El indicador de Falkenmark es quizás la medida más utilizada del estrés hídrico. Está definido como la fracción de la escorrentía anual total disponible para uso humano. Este indicador mide la cantidad de agua disponible en una región en función de la población. Lo normal es considerar que el umbral de una región para satisfacer los requerimientos de agua para la agricultura, la industria, la energía y el medio ambiente sea de 1700 m³ por persona/ año, cuando desciende a niveles entre 1700 m³ hasta 1000 m³ por persona/año, pueden preverse situaciones de escasez periódica o limitada de agua, por lo que se dice que la región experimenta tensión hídrica. Se entiende que la disponibilidad por debajo de los 1000 m³ por persona/ año representa un estado de “escasez de agua crónica”, y por debajo de los 500 m³ por persona/año, “escasez de agua absoluta” (Garrido, 2007).

Tabla 13. Categorías del indicador de Falkenmark (Falkenmark, 1989).

Agua dulce renovable (m ³ /hab-año)	Categoría
> 1700	Sin estrés hídrico
1000 – 1700	Con estrés hídrico
500 -1000	Escasez
< 500	Escasez absoluta

Se construyó, para la presente investigación, el índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad de agua (IVTDH), ante la amenaza climática, considerando aspectos tales como: el caudal ecológico, el índice de falkenmark, el índice de calidad físico-químico del agua (ICA-NSF), el índice biológico BMWP/Col y el índice de calidad de hábitat (SVAP), calculado de la siguiente manera:

$$IVTDH = (Q_{\text{medio}} - Q_{\text{cal}} - Q_{\text{ecol}})/(\# \text{ hab} * 1700) * ICA_{\text{global}}$$

Siendo:

Q_{med} : El valor del caudal medio, en m³/s.

Q_{cal} : El caudal que se debe preservar para mantener la calidad del agua, igual a 0,25 Q_{med}

Q_{ecol} : El valor del caudal ecológico, calculado como el 25% del caudal mínimo promedio.

hab: Número de habitantes con influencia directa en el cuerpo de agua.

1700: Constante de Falkenmark

$ICA_{\text{Global}} = (ICA\text{-NSF}/100 + BMWP/123 + SVAP/10)/3$

$$IVTDH = (Q_{\text{medio}} - 0,25Q_{\text{medio}} - 0,25Q_{\text{mínimo}})/(\# \text{ hab} * 1700) * ICA_{\text{global}}$$

En la Tabla 14 se presentan los valores del índice y su respectiva clasificación.

Tabla 14. Categorías del índice IVTDH.

Valor del índice	Clasificación
>=1	Sin vulnerabilidad
0,86-0,99	Vulnerabilidad Baja
0,50-0,85	Vulnerabilidad Media
0,49-0,25	Vulnerabilidad Alta
<0,25	Vulnerabilidad Extrema

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Resultados Análisis Visual de calidad de hábitat

- **Río Chambery – Salamina, Caldas**

En la cuenca hidrográfica del Río Chambery, se ubicó la estación 1, a 1500 msnm, esta zona, se caracteriza por tener asentamiento poblacional muy cerca al cauce con cultivos de plátano asociado a café, fácil acceso de personas y animales y extracción artesanal de material de río (Figura 8).



Figura 8. Aspecto del punto de monitoreo 1, Río Chambery.

La estación 2, ubicada a 1337 msnm, es un área de cauce amplio a plena exposición solar, caudal fuerte, con turbulencias y presencia de remolinos, grandes rocas que ayudan a la oxigenación, generalmente el agua presenta una apariencia turbia y en la zona es cotidiano la extracción artesanal de material de río (Figura 9).



Figura 9. Aspecto del punto de monitoreo 2, Río Chambery

La estación 3 ubicada a 1140 msnm, presenta un cauce amplio expuesto totalmente al brillo solar, el cuerpo de agua registra un caudal fuerte y turbiedad moderada, en la zona es común la explotación artesanal de material de río y pesca ocasional con anzuelo (Figura 10).

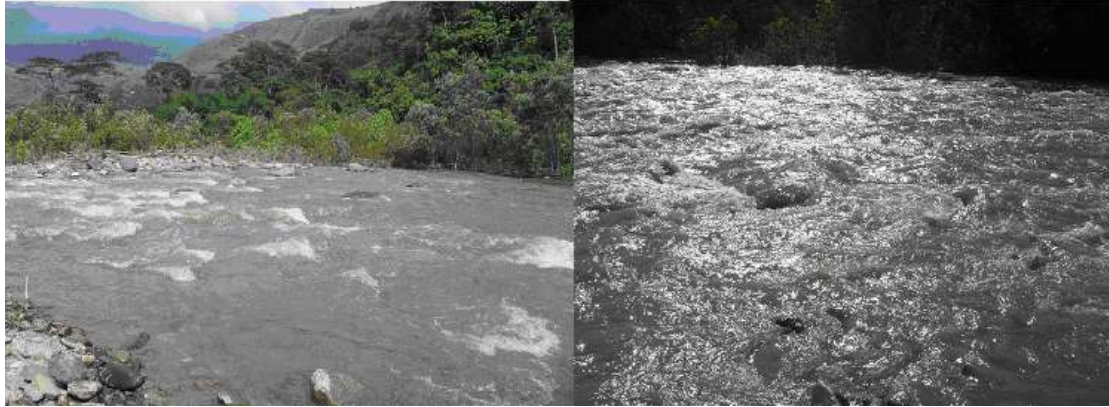


Figura 10. Aspecto del punto de monitoreo 3, Río Chambery.

- **Quebrada El Tabor – Balboa, Risaralda**

En la quebrada El Tabor se ubicó a una altitud de 1398 metros, la estación 1, este cauce presenta protección en cobertura vegetal alrededor de 90-95%, con guaduales de altura superior a 10 metros, en la zona hay poco tránsito de personas y acceso restringido para animales, no hay paso de vehículos, se caracteriza en su interior por brindar un microclima húmedo muy definido y contrastante respecto al exterior, la apariencia del agua es clara y las laderas de cultivos (café y plátano) se mantienen a una margen superior a 10 metros del canal activo (Figura 11).



Figura 11. Aspecto del punto de monitoreo 1, Quebrada El Tabor.

La estación 2, ubicada a 1195 msnm, es un área de cauce reducido con vegetación riparia tipo arbustos y guaduas, apariencia del agua algo turbia, sin olor, presencia de rocas de tamaño medio a grande, paso ocasional de personas y animales, algunas laderas inestables y cultivos de café y plátano a una distancia considerable respecto a la zona de amortiguación de la microcuenca (Figura 12).



Figura 12. Aspecto del punto de monitoreo 2, Quebrada El Tabor.

La zona de monitoreo correspondiente a la estación 3, ubicada a 987 msnm, se caracteriza por evidenciar un deterioro en la calidad de hábitat, con presencia de estiércol, basuras a pocos metros del cauce y apariencia del agua algo turbia, sin embargo, la microcuenca mantiene una cobertura de dosel alrededor del 75% que brinda protección al canal y a las comunidades biológicas asentadas en los alrededores (Figura 13).



Figura 13. Aspecto del punto de monitoreo 3, Quebrada El Tabor.

- **Quebrada La Yaruma – Santuario, Risaralda**

La estación 1 de la Quebrada La Yaruma, ubicada a una altitud de 1601 msnm, se caracteriza por su agua de apariencia clara, buen caudal y sin olor, el cauce en su ribera se encuentra protegido por arvenses, guaduales y algunos árboles de aproximadamente 3-4 metros de altura, colinda a menos de 3 metros con cultivos de café y plátano y de la parte mas alta se realiza captación de agua por medio de dos mangueras visibles de 1 pulgada (Figura 14).



Figura 14. Aspecto del punto de monitoreo 1, Quebrada La Yaruma.

La estación 2 ubicada a 1228 msnm, evidencia alteración en el cauce con presencia de residuos de pulpa de café y vertimientos de aguas residuales, el cuerpo de agua cuenta con pozas de diferentes profundidades, pequeños remansos, fondo rocoso y agua turbia con buena oxigenación, a menos de 5 metros se establecen cultivos de café asociados con plátano (Figura 15).



Figura 15. Aspecto del punto de monitoreo 2, Quebrada La Yaruma.

La estación 3, localizada a una altitud de 1055 msnm se caracteriza por presentar en su cauce un buen caudal y excelente oxigenación dada por la presencia de rocas de gran tamaño y un lecho pedregoso, la zona ribereña se encuentra protegida por árboles, arbustos y guaduales que proporcionan buena cobertura de dosel, brindando al cauce una sombra superior al 75%, el entorno se ve afectado por presencia de residuos sólidos y pulpa de café (Figura 16).



Figura 16. Aspecto del punto de monitoreo 3, Quebrada La Yaruma.

5.2. Resultados de la evaluación de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos

En diferentes meses del año, se realizaron cuatro monitoreos en cada uno de los puntos seleccionados, utilizando para dicho fin red D-net y abarcando diversos micro-hábitats (sustrato rocoso, hojarasca y sedimento), en lo que se refiere al componente biológico de macroinvertebrados. Se registraron un total de 1692 individuos, representados en 16 órdenes y 47 familias.

En el Río Chambery (Salamina, Caldas) se identificaron un total de 31 familias distribuidas en 13 ordenes, en la Quebrada La Yaruma (Santuario, Risaralda) 29 familias distribuidas en 10 ordenes y en la Quebrada El Tabor (Balboa, Risaralda) 38 familias distribuidas en 15 ordenes, siendo este último, el sitio que alberga mayor diversidad de macroinvertebrados acuáticos.

La riqueza en la Quebrada El Tabor, puede obedecerse a la calidad física del hábitat, caracterizado por la presencia de vegetación riparia a lo largo de los tres puntos de la microcuenca, una condición que, sin duda, es de suma importancia en la colonización, establecimiento y protección de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los ecosistemas hídricos.

La estructura y composición de los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos, varía en función de factores bióticos y abióticos y sus diferentes distribuciones espaciales, denotan los cambios en cada microhábitat.

Los resultados de los cuatro monitoreos biológicos, permitieron registrar en los puntos 1 de seguimiento, abundancias altas y recurrentes de distintas familias del orden Ephemeroptera (Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Baetidae), estas ninfas, presentan adaptaciones morfológicas y de comportamiento para vivir en aguas corrientosas, limpias y bien oxigenadas, pocas son las que resisten cierto grado de contaminación, por lo que se considera buenas indicadores de la calidad del agua (Roldán 1980, Escobar, 1989, Zúñiga *et al.*, 1995),

su presencia se registra en todos los puntos uno de las tres microcuencas (Figuras 17, 18 y 19).

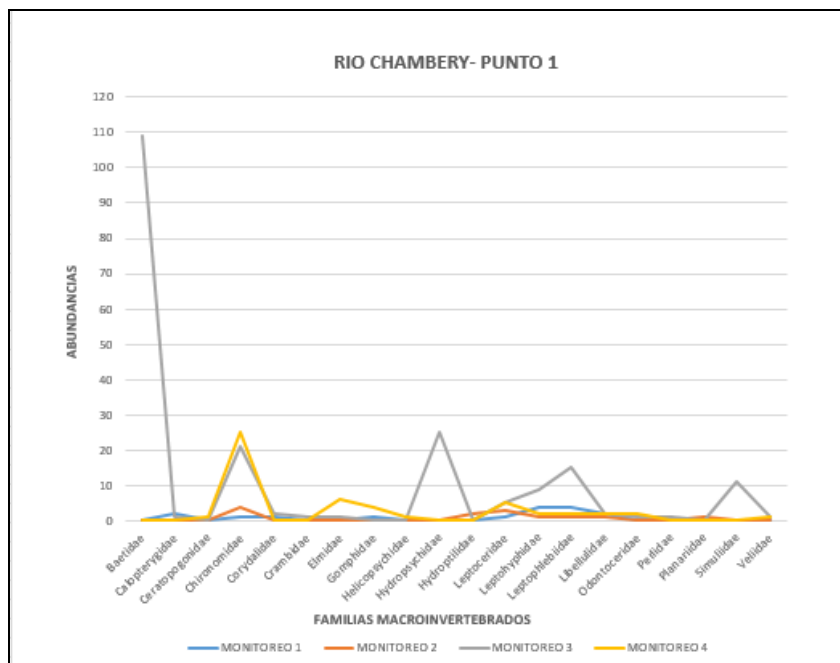


Figura 17. Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, Río Chambery (Salamina, Caldas), Punto 1.

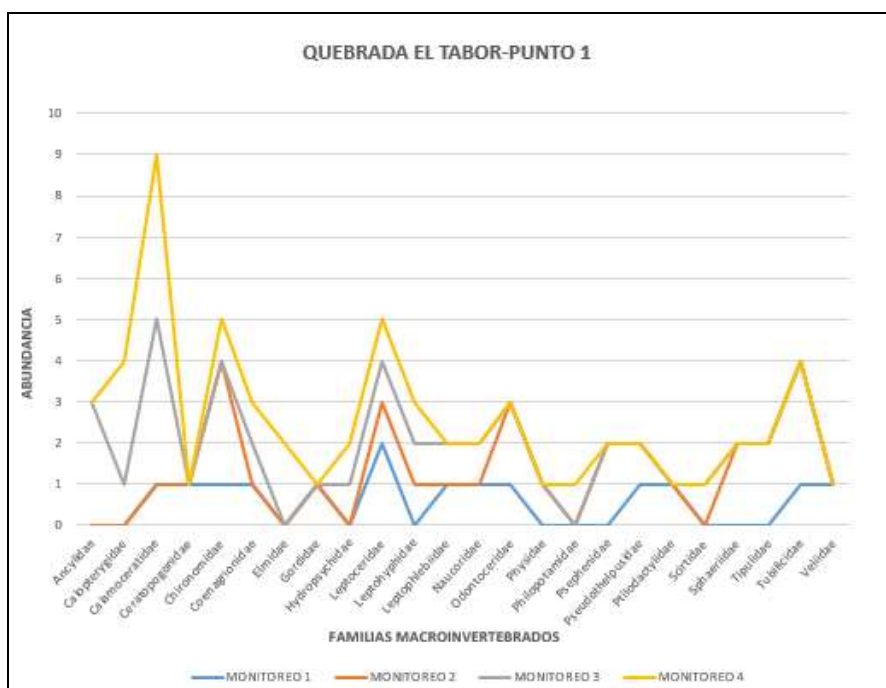


Figura 18. Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, Quebrada El Tabor (Balboa, Risaralda), Punto 1.

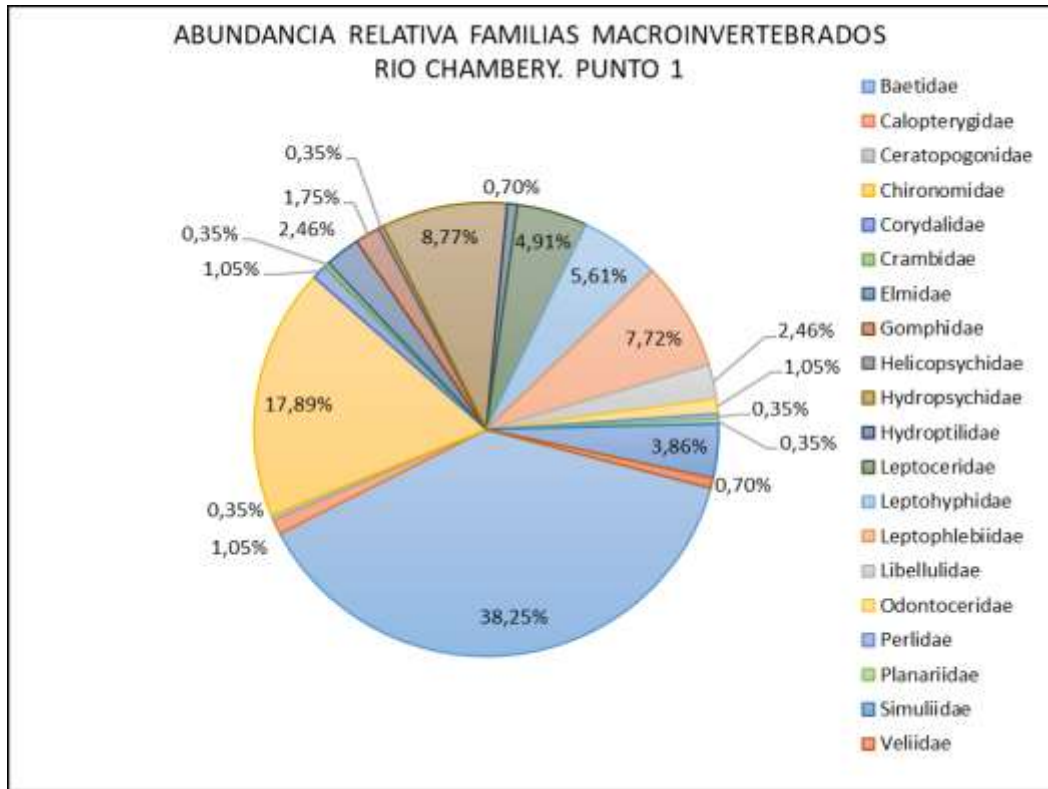


Figura 20. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Río Chambery, punto 1.

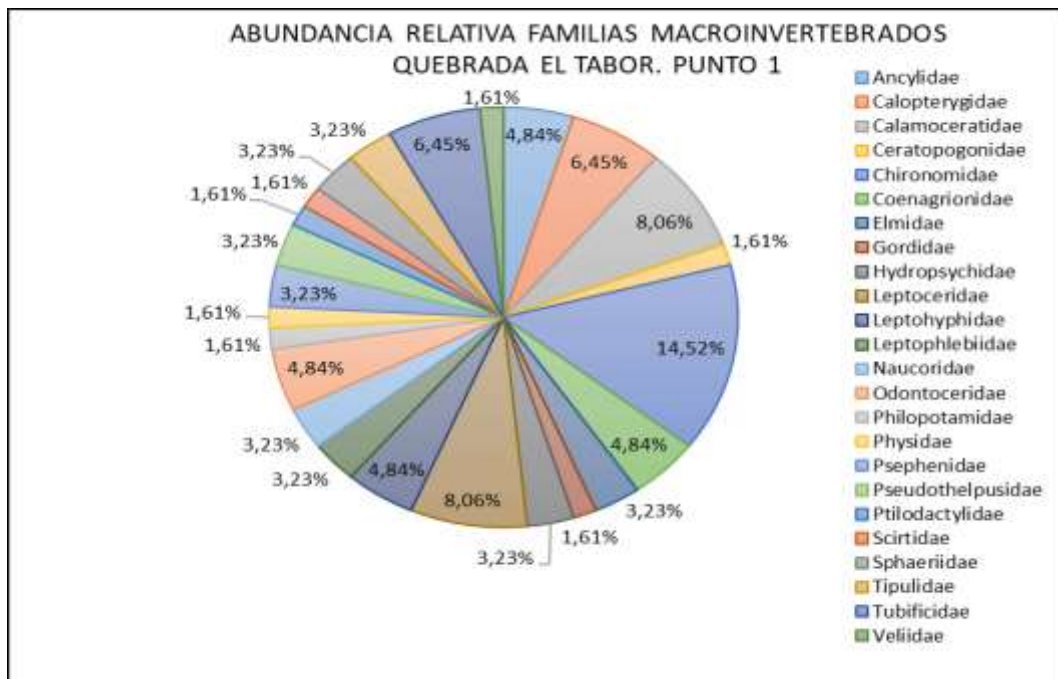


Figura 21. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Quebrada El Tabor, Punto 1

En el municipio de Santuario la representatividad de los ensambles de macroinvertebrados es variable con tendencia media al dominio de algunas familias, los porcentajes más altos están dados por Hydropsychidae 17,83%, Leptohyphidae 15,92% y Chironomidae 9,55% los demás, se encuentran en abundancias menores (Figura 22).

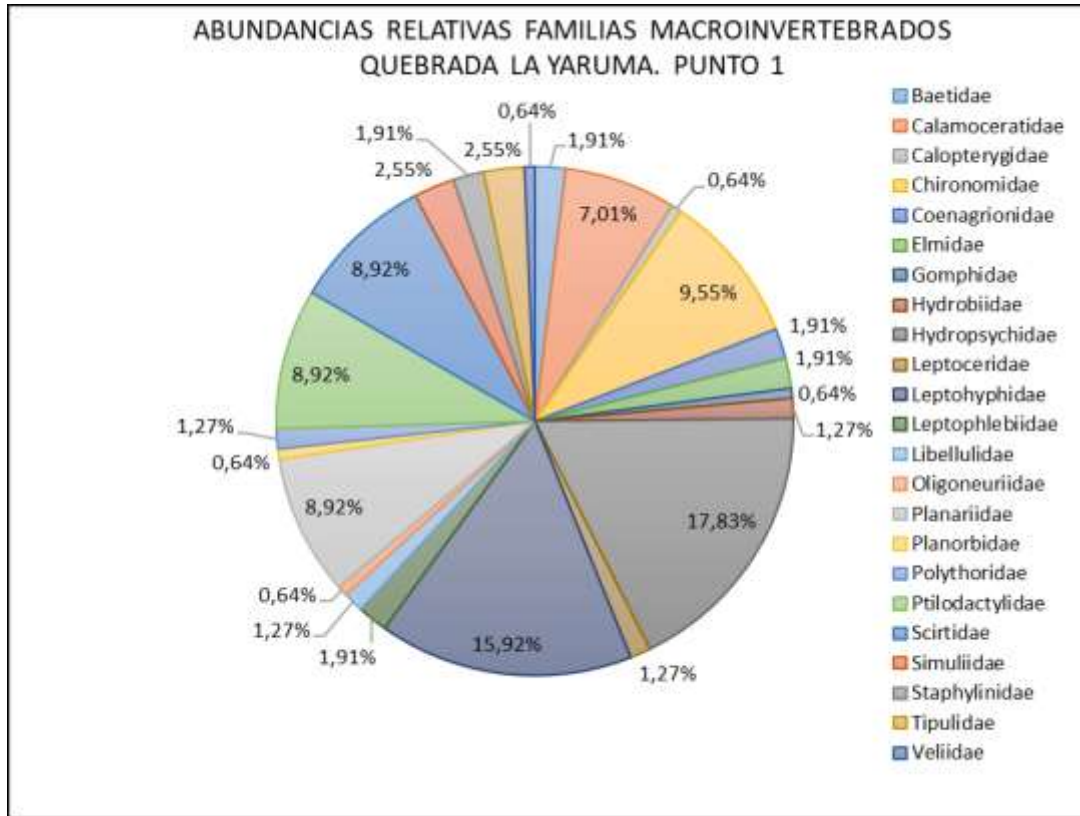


Figura 22. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Quebrada La Yaruma, Punto 1.

Dentro de la fauna de macroinvertebrados, los heterópteros acuáticos son depredadores y juegan un papel importante en la cadena trófica de ecosistemas lóticos y lenticos, particularmente la familia Veliidae es considerada como indicador biológico de una buena calidad del agua especialmente en lo que respecta a la película superficial del agua (Padilla, 2012).

La distribución de algunas familias pertenecientes al orden Trichoptera (Helicopsychidae, Hydropsychidae, Hydrobiosidae, Leptoceridae), se lleva a cabo en un amplio rango de características ecológicas y mediante diversas estrategias alimenticias, que incluyen la fragmentación de hojas y madera, la recolección de material orgánico en suspensión (mediante redes de seda que fabrican o mediante piezas bucales modificadas), el raspado de algas, la succión de contenidos celulares de algas y la depredación (Wiggins, 2004), lo que favorece una buena colonización y fácil adaptación a ofertas ambientales variables.

En la Figura 23 se presenta la estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos para el Río Chambery (Salamina, Caldas), Punto 2 y en la Figura 24 la abundancia relativa correspondiente a la distribución de macroinvertebrados al nivel taxonómico de familia. Se observa que la composición del ensamble, está siendo influenciada por la dominancia de tres familias, Chironomidae (21,80%) Baetidae (15,79%), y Veliidae (11,28%), esta poca uniformidad se relaciona a cambios en parámetros físicos, químicos, microbiológicos y de hábitat que impiden e impactan el desarrollo y establecimiento de familias sensibles a la contaminación y favorecen a las familias tolerantes o aquellos organismos que han creado diversas estrategias alimenticias para su supervivencia.

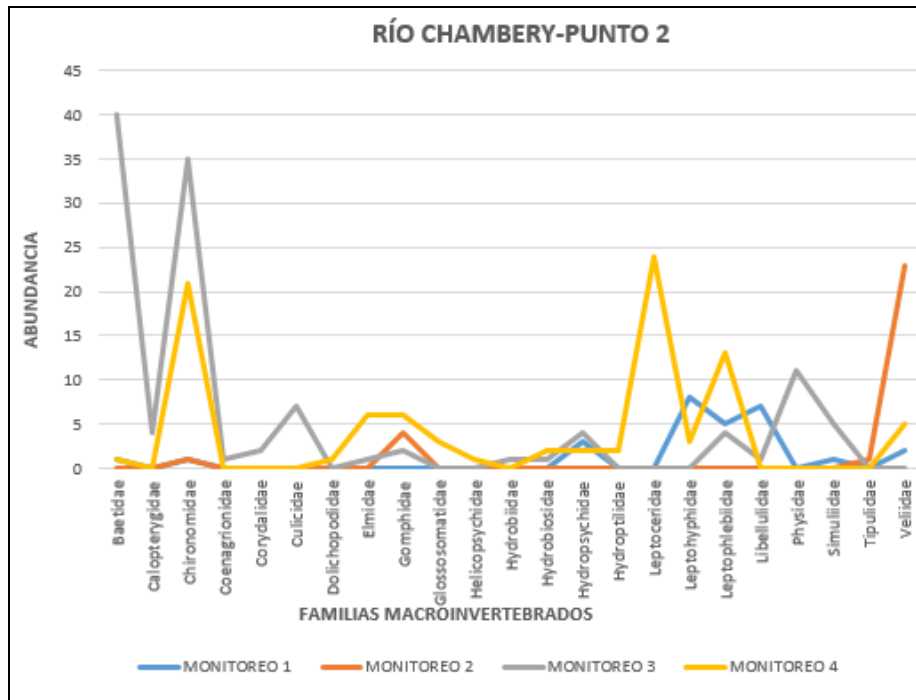


Figura 23. Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, Río Chambery (Salamina, Caldas), Punto 2.

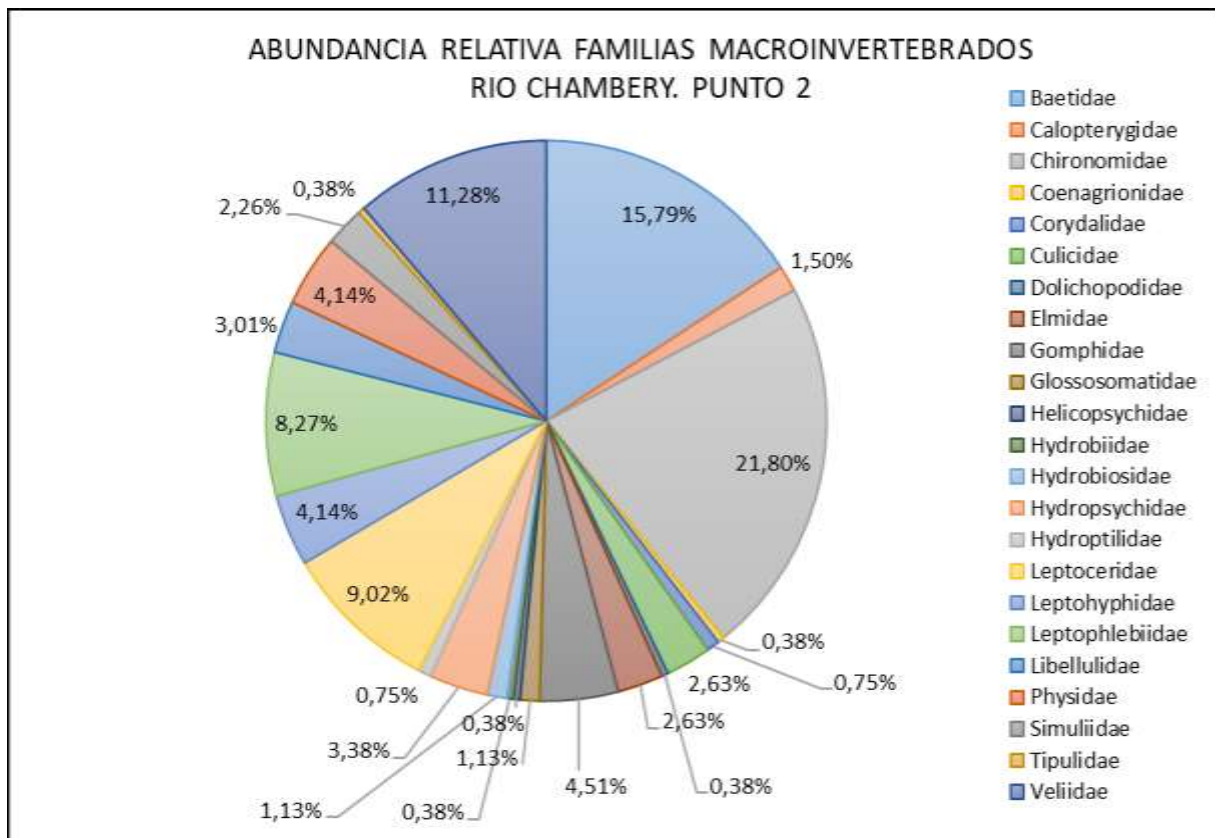


Figura 24. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Río Chambery, punto 2.

En la Figura 25 se presenta la estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos para La Quebrada El Tabor (Balboa, Risaralda), Punto 2 y en la Figura 26 la abundancia relativa correspondiente a la distribución de macroinvertebrados.

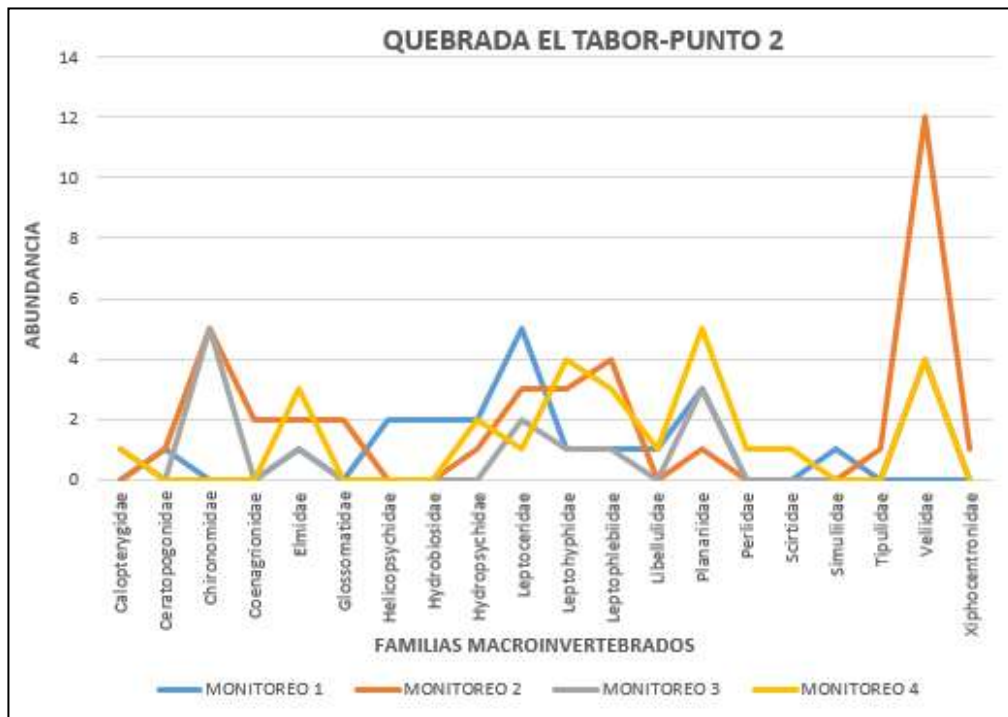


Figura 25. Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, Quebrada El Tabor (Balboa, Risaralda), Punto 2.

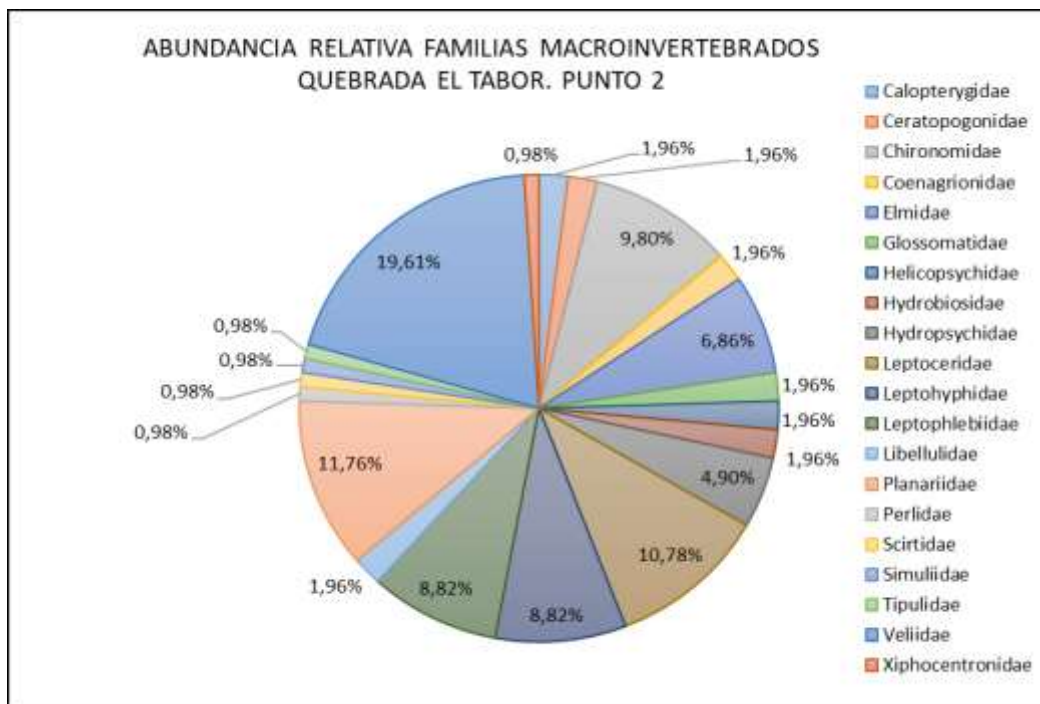


Figura 26. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Quebrada El Tabor, Punto 2.

La abundancia relativa hallada en el punto 2 de la Quebrada El Tabor cambia respecto al punto 1, encontrándose en este, menor uniformidad y una leve dominancia dada por las familias Veliidae con 19,61%, Leptoceridae (10,78%) y Chironomidae con 9,80%, lo anterior, refleja las variaciones y la oferta ambiental que da como resultado una reestructuración de toda la comunidad y un empobrecimiento de la diversidad.

En la Figura 27 se presenta la estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos para La Quebrada La Yaruma (Santuario, Risaralda), Punto 2 y en la Figura 28 la abundancia relativa correspondiente a la distribución de macroinvertebrados.

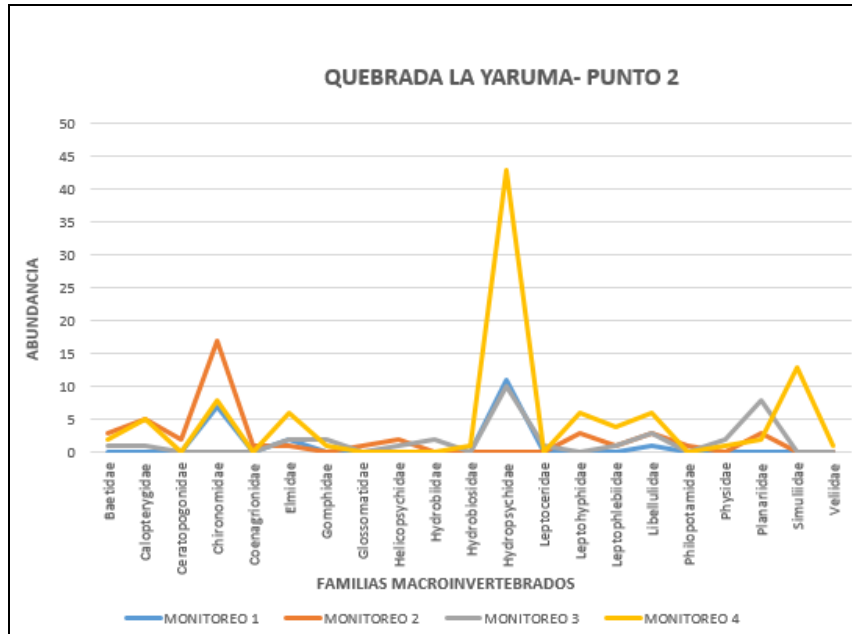


Figura 27. Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, Quebrada La Yaruma (Santuario, Risaralda), Punto 2.

En la quebrada La Yaruma, punto 2, la distribución en cuanto a uniformidad está similar al punto 1, pero no en el valor de abundancias relativas, la mitad del ensamble de macroinvertebrados acuáticos, esta siendo dominado por la familia Hydropsychidae y Chironomidae (32,49% y 16,24%), con este resultado, se hace notable el recambio de familias de un lugar a otro, mediado por disponibilidad de recursos y alteraciones ecológicas.

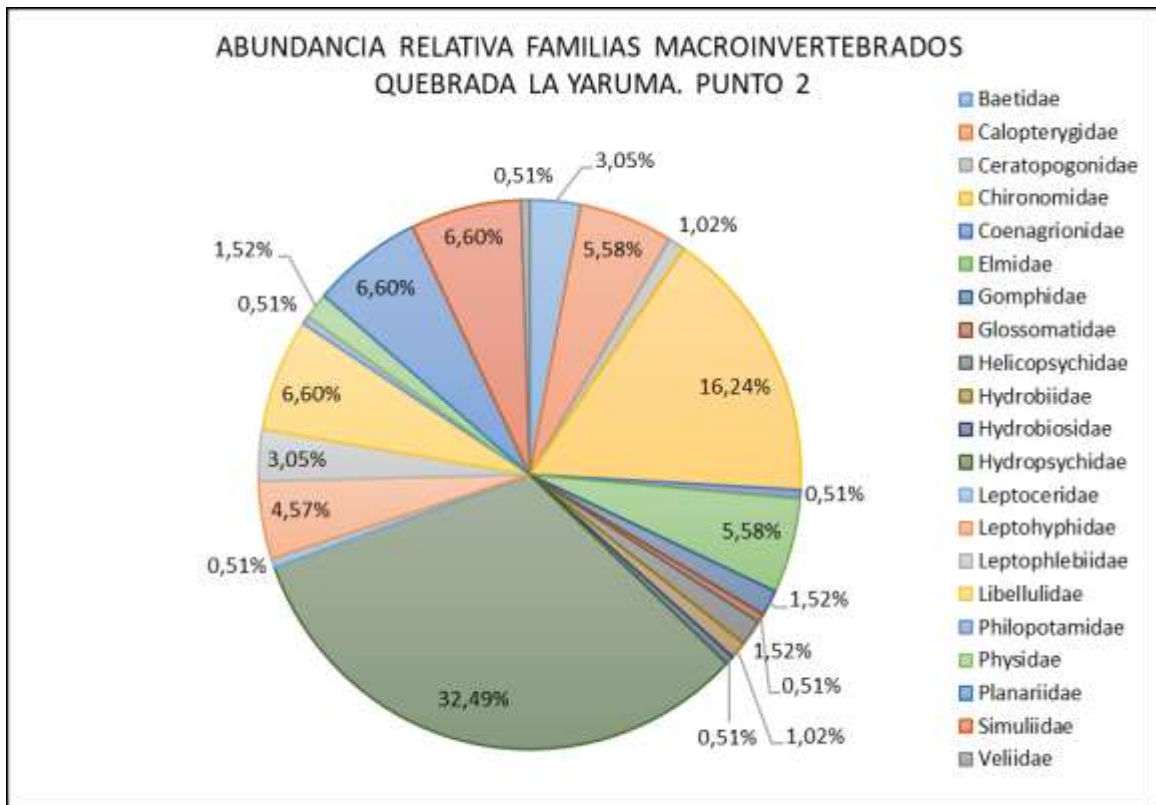


Figura 28. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Quebrada La Yaruma, Punto 2.

En la Figura 29 se presenta la estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos para el Río Chambéry (Salamina, Caldas), Punto 3 y en la Figura 30 la abundancia relativa correspondiente a la distribución de macroinvertebrados.

En la Figura 31 se presenta la estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos para La Quebrada El Tabor (Balboa, Risaralda), Punto 3 y en la Figura 32 la abundancia relativa correspondiente a la distribución de macroinvertebrados.

Los puntos 3 de monitoreo en la microcuenca del Río Chambéry (Salamina, Caldas) y la microcuenca de la Quebrada El Tabor (Balboa; Risaralda) muestran una abundancia reducida pero mantienen una riqueza representativa, esto refleja que, a pesar de las diferencias en la integridad ecológica de las estaciones, estas posiblemente presentan una disponibilidad de mesohábitats suficiente para la permanencia de los diferentes grupos tróficos. Esto también puede explicarse, porque los macroinvertebrados presentan flexibilidad en su modo de alimentación tal como lo enfatizan Henriques-Oliveira *et al.*, 2003 para quironomidos y Merritt & Cummins, 1996 para todos los insectos acuáticos, ejemplares que hacen un uso efectivo de la oferta disponible y permiten el mantenimiento de la población.

En Salamina el punto de monitoreo tres, está conformado en más del 70% por sólo tres familias, Baetidae (32,60%), Chironomidae (20,17%), Simuliidae (18,23%), esta dominancia tan alta limita la biodiversidad local de la zona y tiene grandes implicaciones, como la disminución de resiliencia y resistencia a disturbios ambientales.

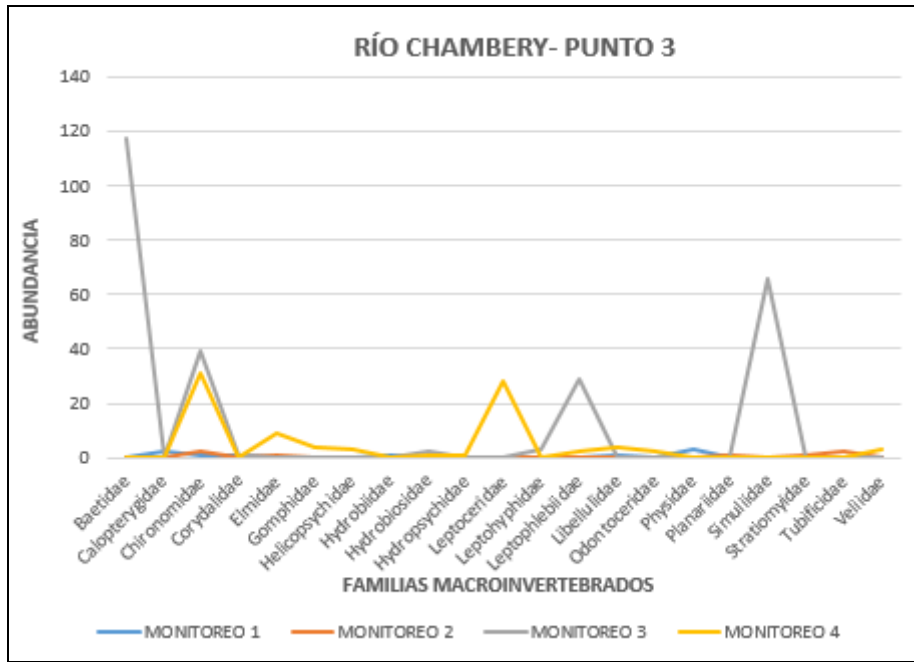


Figura 29. Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, Río Chambery (Salamina, Caldas), Punto 3.

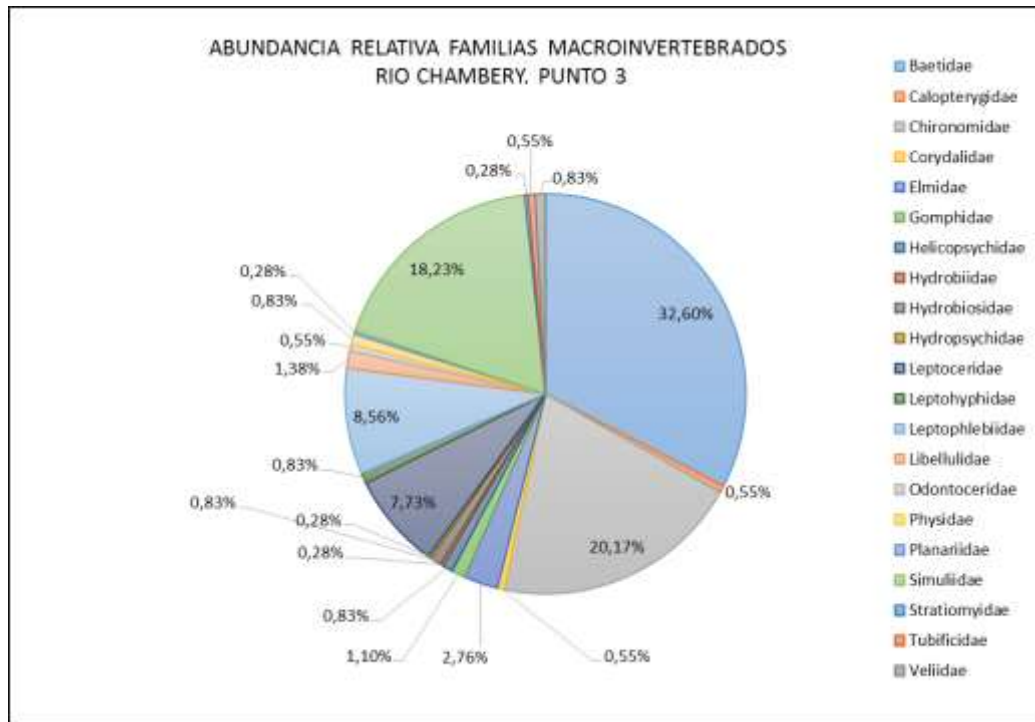


Figura 30. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Río Chambery, punto 3.

En la Figura 33 se presenta la estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos para La Quebrada La Yaruma (Santuario, Risaralda), Punto 3 y en la Figura 34 la abundancia relativa correspondiente a la distribución de macroinvertebrados.

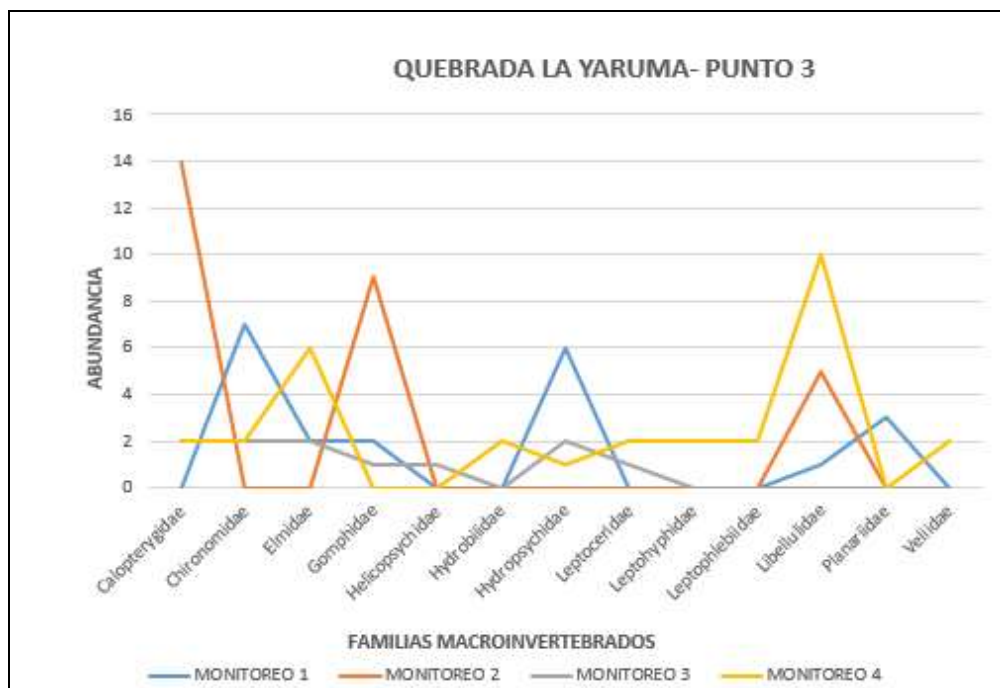


Figura 33. Estructura y composición de macroinvertebrados acuáticos, Quebrada La Yaruma (Santuario, Risaralda), Punto 3.

El punto tres de la Quebrada La Yaruma, alberga poca riqueza y baja abundancia de organismos, solo trece familias de macroinvertebrados acuáticos se encontraron en los tres monitoreos realizados, lo que conlleva a definir esta zona como un sitio que no oferta las condiciones en niveles óptimos, para el abastecimiento, permanencia y crecimiento poblacional. Este déficit de diversidad y la disminución en el número de registros puede ser atribuido a la acción de deriva, que está asociada a modificaciones de sustrato, altas descargas y cambios de temperatura y precipitación, que desprenden y desplazan la fauna, alterando la abundancia local, por otra parte, se puede considerar también, que sí los periodos hidrológicos han sido variables, las condiciones de hábitat han sido menos estables, por lo tanto, los organismos se han expuesto más a las posibilidades de derivar.

De manera general, en todos los puntos de monitoreo, se observa alta abundancia de Chironomidae, su establecimiento cosmopolita lo lleva a ser la familia de macroinvertebrados de mayor abundancia y distribución en todos los ecosistemas dulceacuícolas (Ferrington, 2008, Rosa *et al.*, 2014), además, tienen una tasa reproductiva rápida que les permite alcanzar abundancias muy elevadas (Roldán, 2003; Segnini, 2003).

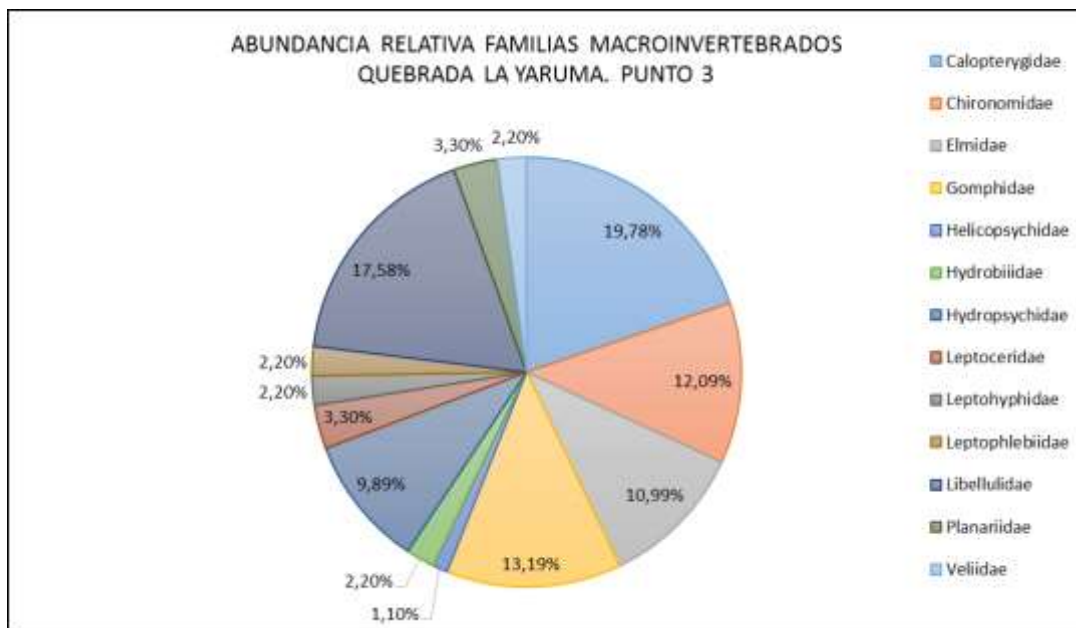


Figura 34. Abundancia relativa macroinvertebrados acuáticos, Quebrada La Yaruma, Punto 3.

5.3. Resultados de parámetros físico-químicos

La determinación de parámetros físico-químicos requirió la aplicación de las metodologías condensadas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1992), los resultados obtenidos se resumen en las Tablas 15 a 18, donde se conglomeran los promedios para las tres zonas de evaluación (Río Chambery, Quebrada El Tabor y Quebrada La Yaruma), las variables incluyen valores de Oxígeno disuelto, pH, Temperatura, Turbidez, Nitratos, Fosfatos, DBO₅, Sólidos Totales y Coliformes fecales con su respectivo factor de ponderación para el cálculo del índice de calidad ICA-NSF.

Tabla 15. Caracterización físico- química, monitoreo 1.

INDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA-NSF											
VARIABLE	UNIDADES	FACTOR (Fi)	SALAMINA			BALBOA			SANTUARIO		
			RIO CHAMBERY			QUEBRADA TABOR			QUEBRADA LA YARUMA		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Oxígeno Disuelto	% saturación	0,17	102,3	101,4	105,2	95,1	101,6	101,6	107,3	108,1	106,5
pH	unidades	0,11	7,83	7,85	8,25	6,03	6,90	7,50	6,90	7,20	7,10
Cambio de T°	°C	0,10	5,20	4,80	6,60	2,80	2,50	2,50	1,10	4,20	5,80
Turbidez	NTU	0,08	7,00	18,00	8,00	14,00	23,50	20,50	11,00	12,50	16,50
Nitratos	ppm	0,10	0,80	21,70	2,35	2,45	2,20	2,40	2,20	1,90	2,80
Fosfatos	ppm	0,10	0,23	0,35	0,25	0,46	0,42	0,78	1,01	0,27	0,68
DBO ₅	ppm	0,11	16,00	26,50	34,75	25,50	22,50	36,50	23,25	22,25	25,75
Sólidos Totales	ppm	0,07	138	178	197	52	37	56	32	21	35
Coliformes fecales	colonia/100ml	0,16	290	565	130	850	985	1.300	55	85	385

Tabla 16. Caracterización físico- química, monitoreo 2.

INDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA - NSF											
VARIABLE	UNIDADES	FACTOR (Fi)	SALAMINA			BALBOA			SANTUARIO		
			RIO CHAMBERY			QUEBRADA EL TABOR			QUEBRADA LA YARUMA		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Oxígeno Disuelto	% saturación	0,17	103,6	97,0	105,5	96,9	98,9	99,3	96,7	98,2	92,6
pH	unidades	0,11	7,80	7,90	7,80	7,30	7,30	7,50	7,10	7,40	7,50
Cambio de T°	°C	0,10	1,80	1,40	1,60	0,60	1,90	2,00	0,90	0,70	1,90
Turbidez	NTU	0,08	28,00	40,50	145,50	10,00	10,50	10,50	7,00	7,00	8,00
Nitratos	ppm	0,10	0,45	1,35	2,65	1,60	1,55	6,25	1,70	1,40	1,60
Fosfatos	ppm	0,10	0,93	0,67	1,08	0,22	0,25	0,36	0,29	0,16	0,19
DBO5	ppm	0,11	13,75	20,50	33,25	36,75	37,25	40,25	35,50	41,50	38,00
Sólidos Totales	ppm	0,07	128	194	400	45	44	118	93	119	115
Coliformes fecales	colonia/100ml	0,16	200	350	950	240	910	960	25	400	685

Tabla 17. Caracterización físico- química, monitoreo 3.

INDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA - NSF											
VARIABLE	UNIDADES	FACTOR (Fi)	SALAMINA			BALBOA			SANTUARIO		
			RIO CHAMBERY			QUEBRADA EL TABOR			QUEBRADA LA YARUMA		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Oxígeno Disuelto	% saturación	0,17	102,1	100,8	101,8	100,1	94,5	98,9	98,2	100,8	99,0
pH	unidades	0,11	7,90	8,10	8,20	6,90	7,10	7,50	7,30	7,40	7,50
Cambio de T°	°C	0,10	1,20	3,20	3,20	0,40	0,70	0,50	2,20	1,80	0,40
Turbidez	NTU	0,08	7,50	7,00	8,50	13,00	17,50	18,00	2,50	2,50	2,00
Nitratos	ppm	0,10	1,10	1,05	0,90	2,45	1,75	1,90	1,15	1,45	1,70
Fosfatos	ppm	0,10	0,24	0,22	0,30	0,32	0,37	0,27	0,31	0,14	0,19
DBO5	ppm	0,11	16,00	33,00	17,75	22,25	19,00	22,25	14,75	14,25	18,25
Sólidos Totales	ppm	0,07	137	176	170	66	90	78	90	102	98
Coliformes fecales	colonia/100ml	0,16	70	90	580	150	235	455	25	40	2285

Tabla 18. Caracterización físico- química, monitoreo 4.

INDICE DE CALIDAD DE AGUA ICA - NSF											
VARIABLE	UNIDADES	FACTOR (Fi)	SALAMINA			BALBOA			SANTUARIO		
			RIO CHAMBERY			QUEBRADA EL TABOR			QUEBRADA LA YARUMA		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Oxígeno Disuelto	% saturación	0,17	106,8	104,5	108,1	93,5	98,7	101,7	98,3	110,0	96,8
pH	unidades	0,11	7,90	8,00	8,10	7,10	7,40	7,70	7,30	7,50	7,80
Cambio de T°	°C	0,10	4,10	0,90	3,20	1,20	1,40	1,40	0,90	1,60	0,90
Turbidez	NTU	0,08	5,11	5,96	5,43	5,37	5,84	6,77	4,00	7,49	7,52
Nitratos	ppm	0,10	0,70	1,30	0,95	1,25	1,35	1,65	1,70	1,65	2,10
Fosfatos	ppm	0,10	0,21	0,46	0,28	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13
DBO5	ppm	0,11	18,50	19,50	22,50	8,25	27,50	30,25	20,00	27,00	29,75
Sólidos Totales	ppm	0,07	150	178	169	42	50	76	69	100	135
Coliformes fecales	colonia/100ml	0,16	1245	690	1440	30	40	40	275	540	1815

- **Oxígeno disuelto**

De acuerdo a los datos registrados, se obtuvieron altos porcentajes de saturación de oxígeno, valores que oscilaron entre 92,6 –108,1% y un comportamiento similar en todas los puntos de monitoreo (Figura 35), información que coincide con lo reportado por Rivera, 2004, en donde establece que la concentración de oxígeno en ríos andinos, es generalmente alta y constante, por lo que éste parámetro, no suele ser un factor limitante para las comunidades acuáticas, y para un óptimo establecimiento de las comunidades de macroinvertebrados.

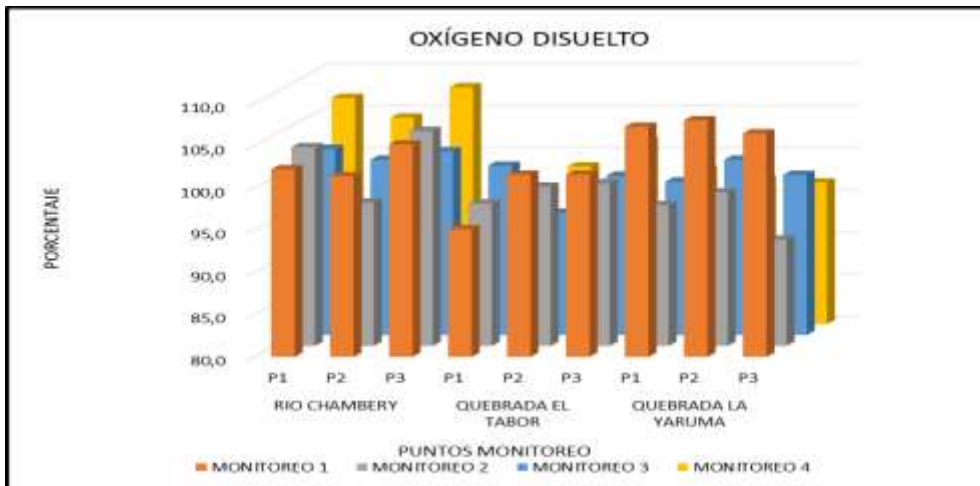


Figura 35. Comportamiento del oxígeno disuelto en las zonas de monitoreo.

- **Coliformes Fecales**

El grupo de bacterias coliformes se aplica como prueba general de monitoreo de calidad del agua y se ha utilizado en todo el mundo a lo largo de los últimos 100 años para llevar a cabo estudios de agua potable, contaminación de sistemas acuáticos, fuentes de contaminación de aguas residuales crudas y sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas recreativas (Rose y Grimes, 2001), con la argumentación anterior, se evaluó la calidad del agua superficial de cada microcuenca con relación a la carga de coliformes fecales, en donde se evidenció el desarrollo de la población bacteriana y su crecimiento exponencial hacia los puntos de mayor contaminación (P2 y P3), en un contexto general, las concentraciones fluctuaron entre 25 UFC /100 ml – 2285 UFC/100ml (Figura 36).

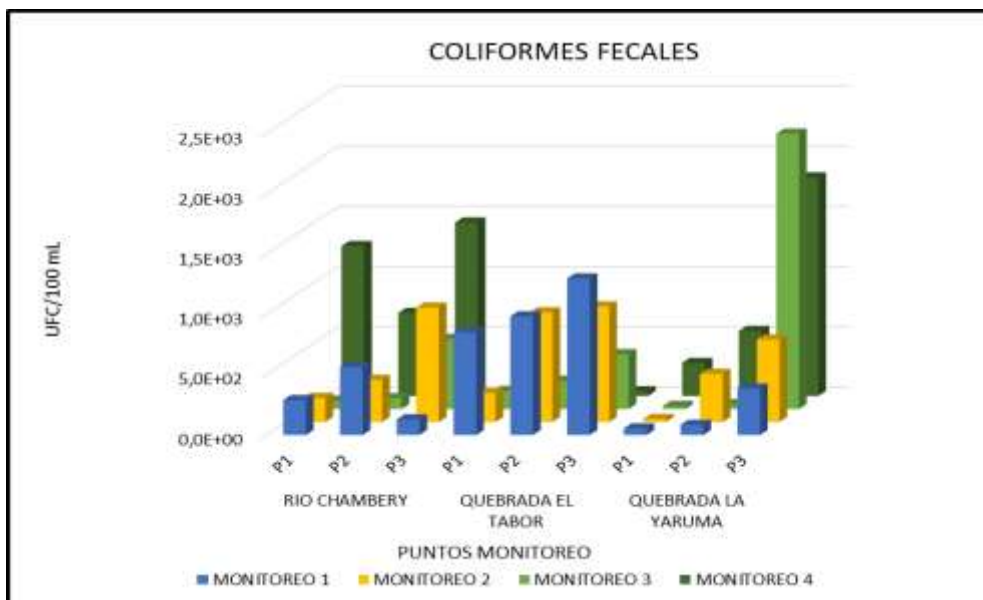


Figura 36. Crecimiento poblacional de coliformes fecales en las zonas de monitoreo

- **Nitratos**

El comportamiento de la concentración de nitratos en los cauces evaluados es muy similar a excepción del Río Chambery P2 (monitoreo 1), en donde se observa, un valor atípico a los promedios registrados (Figura 37), este comportamiento puede estar influenciado al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y a la contaminación por excretas humanas y de animales. La explicación de la presencia de este componente en un recurso hídrico, está dada por las descargas de aguas residuales domésticas, en la cual el nitrógeno está presente como nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal que en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos (Barrenechea, 2004).

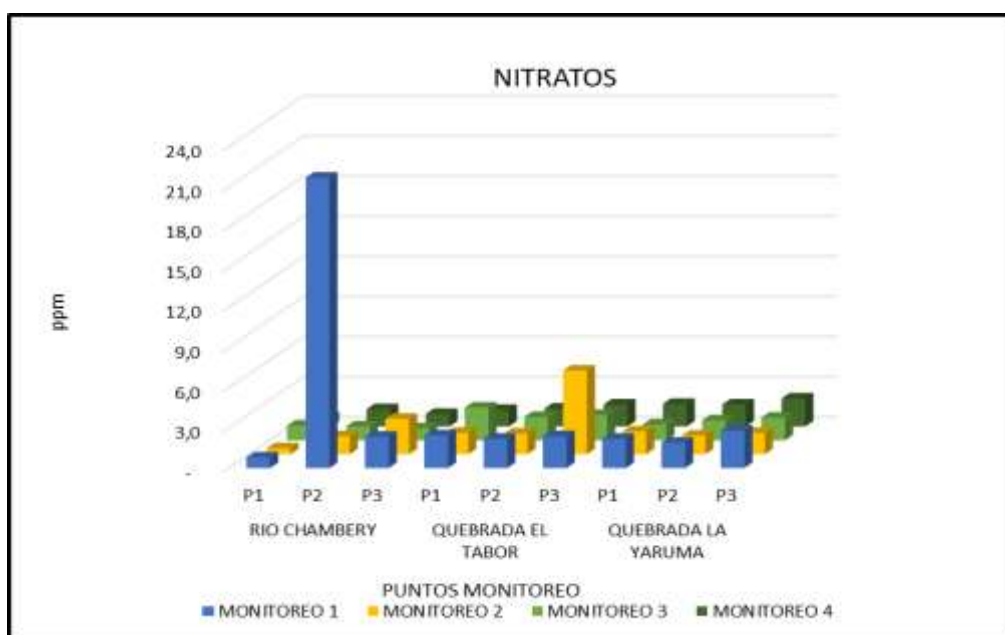


Figura 37. Comportamiento de nitratos en las zonas de monitoreo

- **Fosfatos**

Es común encontrar fosfatos en el agua, son nutrientes de la vida acuática y limitantes del crecimiento de las plantas, sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables y/o acumulación de sedimentos, los valores registrados durante las cuatro campañas de monitoreo no exceden la concentración de 1,08 ppm (Figura 38) la fuente principal de los fosfatos son los procesos biológicos y las descargas de aguas que contienen como residuo detergentes comerciales (Barrenechea, 2004).

- **pH**

El pH es un parámetro de suma importancia tanto para aguas naturales como aguas residuales, debido a que el rango en el cual pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman, está sumamente restringido, por lo cual, si este valor es alterado, los procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados y/o inhibidos. El rango de pH para el río Chambery se encontró entre un mínimo de 7,80 y un máximo de 8,25; en la Quebrada El Tabor el rango osciló entre 6,03 y 7,70 y en la Quebrada La Yaruma los valores fluctuaron entre 6,90 y 7,80 (Figura 39).

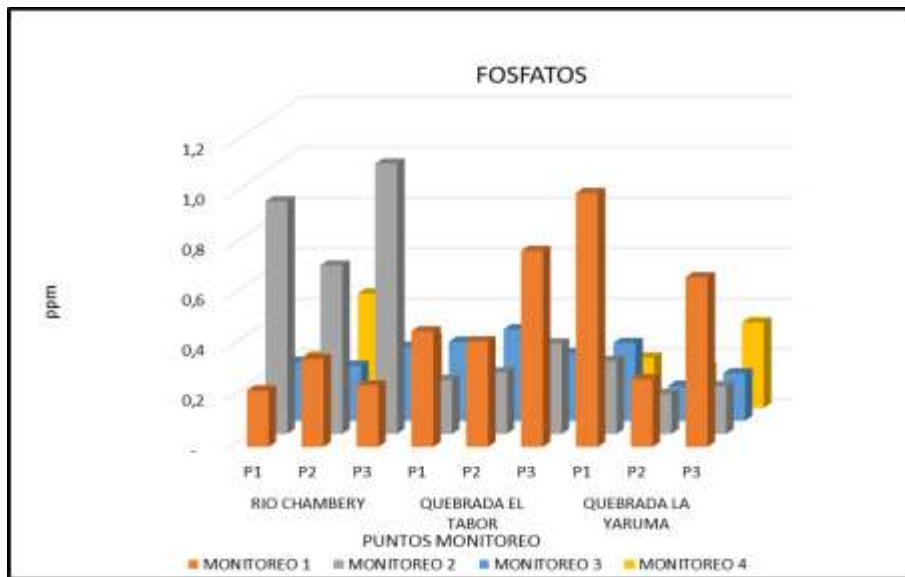


Figura 38. Comportamiento de fosfatos en las zonas de monitoreo.

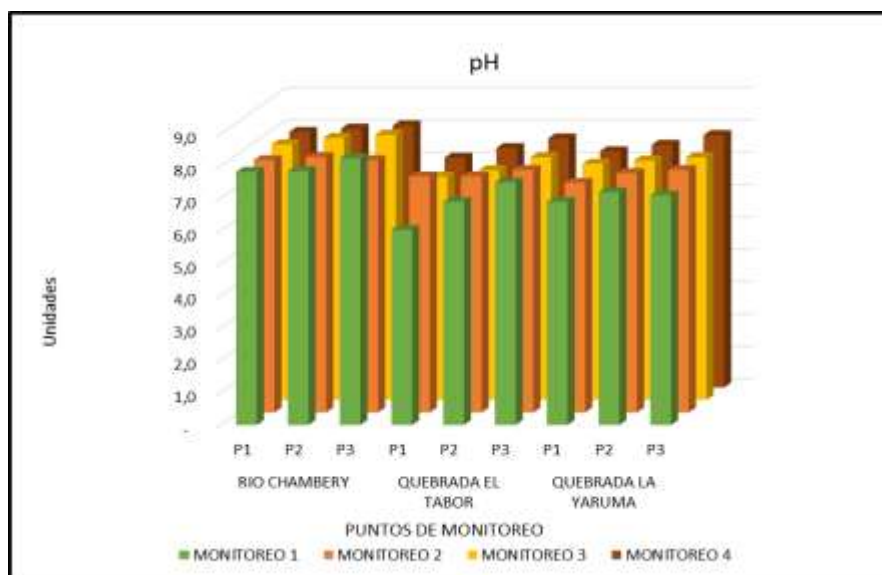


Figura 39. Comportamiento del pH en las zonas de monitoreo

- **Turbidez**

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida), que reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (Barrenechea, 2004); Las unidades utilizadas son unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) y su comportamiento en cada una de las zonas evaluadas fue muy variable cuyo resultado estuvo influenciado por las variaciones medio-ambientales como lluvia y arrastre de sedimentos (Figura 40).

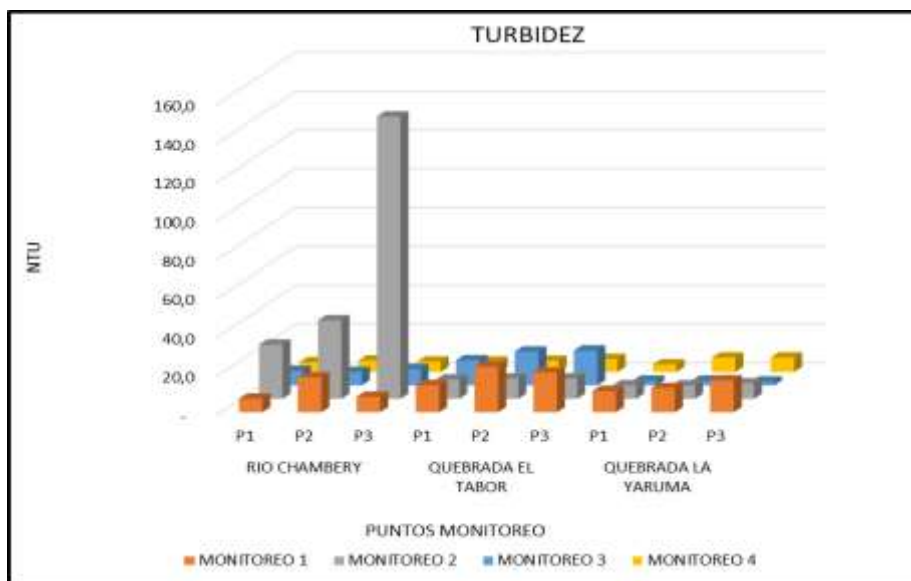


Figura 40. Comportamiento Turbidez en las zonas de monitoreo

5.4. Resultados del índice de calidad de hábitat (SVAP)

En la Tabla 19 y en la Figura 41 se presentan los resultados del índice de calidad de hábitat (SVAP) para la microcuenca del Río Chambery, en Salamina, Caldas, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 19. Índice SVAP en la microcuenca del Río Chambery, Salamina.

PRIMER MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,8		BUENA
PUNTO 2	5,7		MEDIA
PUNTO 3	6,2		MEDIA
SEGUNDO MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	6,9		MEDIA
PUNTO 2	4,9		MALA
PUNTO 3	4,2		MALA
TERCER MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	5,7		MEDIA
PUNTO 2	4,8		MALA
PUNTO 3	4,3		MALA
CUARTO MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	5,5		MEDIA
PUNTO 2	4,5		MALA
PUNTO 3	4,3		MALA

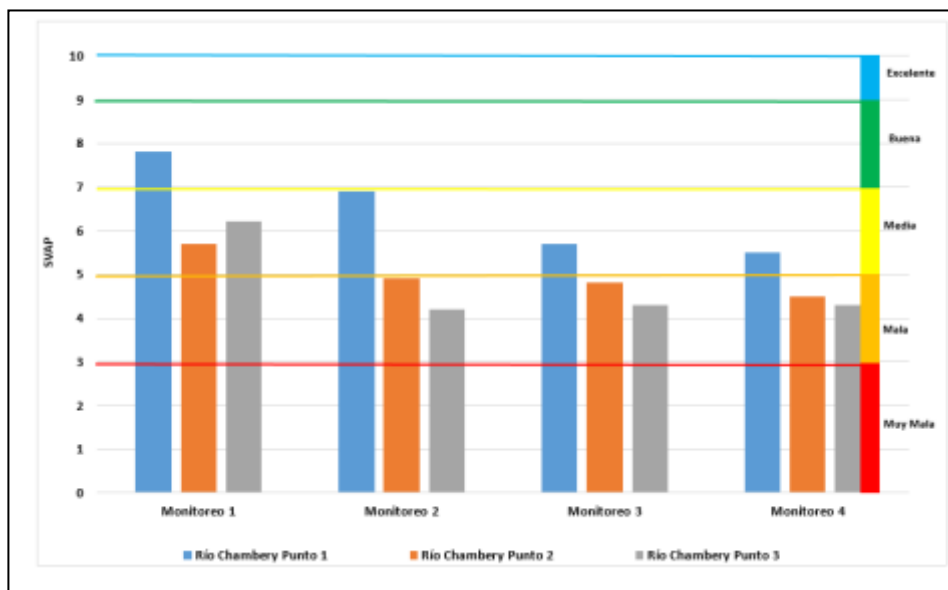


Figura 41. Comportamiento del Índice SVAP en la microcuenca del Río Chambéry

Los valores del índice de calidad de hábitat (SVAP) variaron entre un valor de 4,20 (categoría de calidad mala), en el P3 del monitoreo 2 y un valor de 7,8 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 1.

En la Tabla 20 y en la Figura 42 se presentan los resultados del índice de calidad de hábitat (SVAP) para la microcuenca de La Quebrada El Tabor, en Balboa, Risaralda, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 20. Índice SVAP en la microcuenca Quebrada El Tabor, Balboa

PRIMER MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,2	Buena	BUENA
PUNTO 2	7,1	Buena	BUENA
PUNTO 3	6,5	Media	MEDIA
SEGUNDO MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,5	Buena	BUENA
PUNTO 2	6,6	Media	MEDIA
PUNTO 3	6,6	Media	MEDIA
TERCER MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,6	Buena	BUENA
PUNTO 2	5,9	Media	MEDIA
PUNTO 3	5,5	Media	MEDIA
CUARTO MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,6	Buena	BUENA
PUNTO 2	5,9	Media	MEDIA
PUNTO 3	5,5	Media	MEDIA

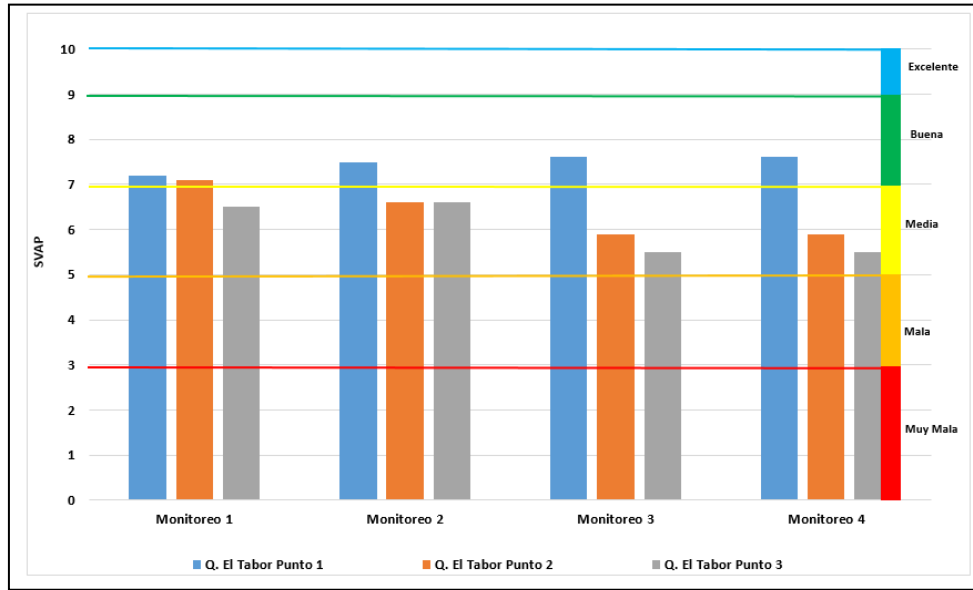


Figura 42. Comportamiento del Índice SVAP en la microcuenca Quebrada El Tabor

Los valores del índice de calidad de hábitat (SVAP) variaron entre un valor de 5,50 (categoría de calidad media), en el P3 del monitoreo 3 y 4 y un valor de 7,6 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 3.

En la Tabla 21 y en la Figura 43 se presentan los resultados del índice de calidad de hábitat (SVAP) para la microcuenca de La Quebrada La Yaruma en Santuario, Risaralda, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 21. Índice SVAP en la microcuenca Quebrada La Yaruma, Santuario

PRIMER MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,5	Buena	BUENA
PUNTO 2	5,5	Media	MEDIA
PUNTO 3	4,7	Mala	MALA
SEGUNDO MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,3	Buena	BUENA
PUNTO 2	5,7	Media	MEDIA
PUNTO 3	4,9	Mala	MALA
TERCER MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,3	Buena	BUENA
PUNTO 2	6,1	Media	MEDIA
PUNTO 3	5,5	Media	MEDIA
CUARTO MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR SVAP	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	7,4	Buena	BUENA
PUNTO 2	6,1	Media	MEDIA
PUNTO 3	5,4	Media	MEDIA

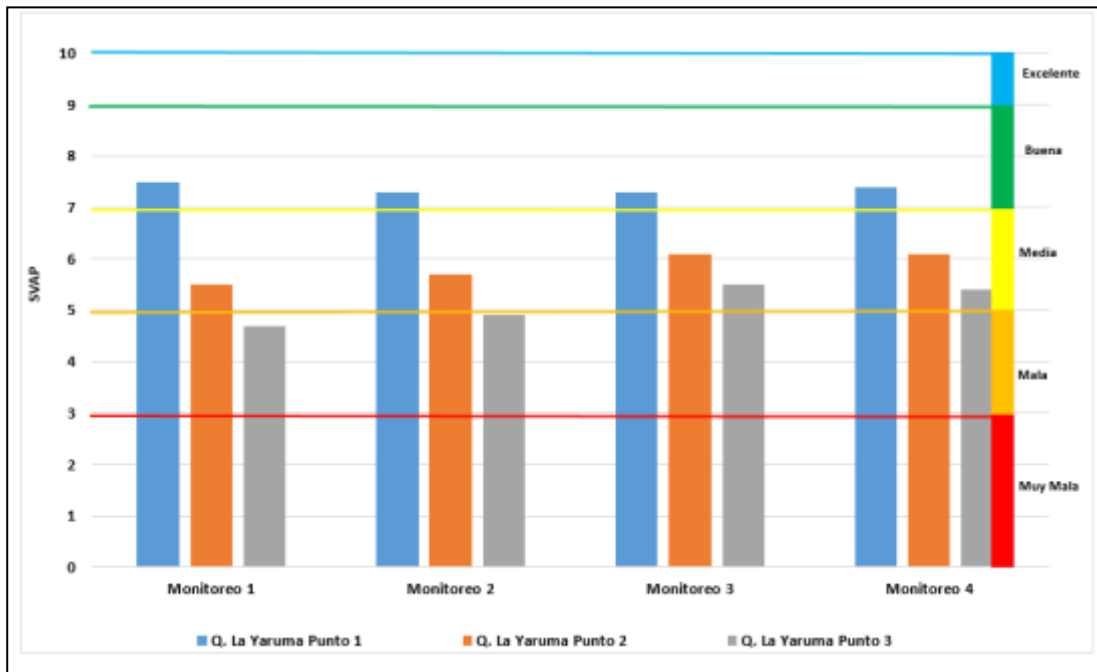


Figura 43. Comportamiento del Índice SVAP en la microcuenca Quebrada La Yaruma

Los valores del índice de calidad de hábitat (SVAP) variaron entre un valor de 4,70 (categoría de calidad mala), en el P3 del monitoreo 1 y un valor de 7,5 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 1.

5.5. Resultados del Índice biológico de calidad (BMWP/Col)

En la Tabla 22 y en la Figura 44 se presentan los resultados del índice de calidad de biológico (BMWP/Col) para la microcuenca del Río Chambery, en Salamina, Caldas, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Los valores del índice de calidad biológico (BMWP/Col) variaron entre un valor 21 (categoría de calidad mala), en el P3 del monitoreo 2 y un valor de 105 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 3.

Tabla 22. Índice BMWP/Col, en la microcuenca del Río Chambery, Salamina

PRIMER MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	53	MEDIA	Amarelo
PUNTO 2	50	MEDIA	Amarelo
PUNTO 3	32	MALA	Laranja
SEGUNDO MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	46	MEDIA	Amarelo
PUNTO 2	22	MALA	Laranja
PUNTO 3	21	MALA	Laranja
TERCER MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	105	BUENA	Verde
PUNTO 2	92	BUENA	Verde
PUNTO 3	45	MALA	Laranja
CUARTO MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	78	BUENA	Verde
PUNTO 2	100	BUENA	Verde
PUNTO 3	83	BUENA	Verde

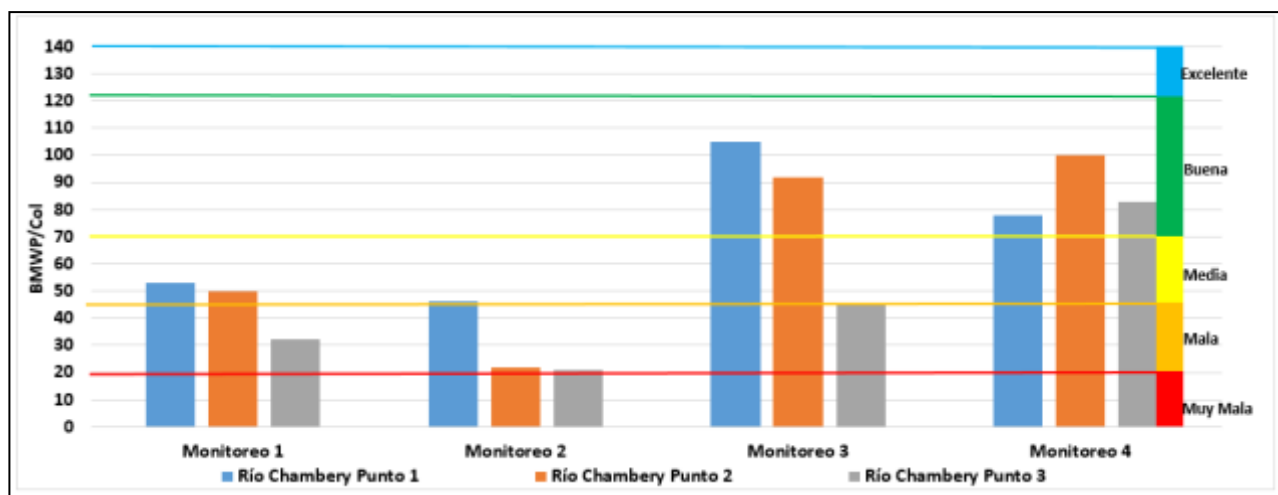


Figura 44. Comportamiento del Índice BMWP/Col en la microcuenca del Río Chambery

En la Tabla 23 y en la Figura 45 se presentan los resultados del índice de calidad biológico (BMWP/Col) para la microcuenca de La Quebrada El Tabor, en Balboa, Risaralda, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 23. Índice BMWP/Col, en la microcuenca Quebrada El Tabor, Balboa

PRIMER MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	84	BUENA	Verde
PUNTO 2	77	BUENA	Verde
PUNTO 3	66	MEDIA	Amarillo
SEGUNDO MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	60	MEDIA	Amarillo
PUNTO 2	87	BUENA	Verde
PUNTO 3	83	BUENA	Verde
TERCER MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	66	MEDIA	Amarillo
PUNTO 2	56	MEDIA	Amarillo
PUNTO 3	53	MEDIA	Amarillo
CUARTO MONITOREO			
BALBOA Q. EL TABOR	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	62	MEDIA	Amarillo
PUNTO 2	84	BUENA	Verde
PUNTO 3	115	BUENA	Verde

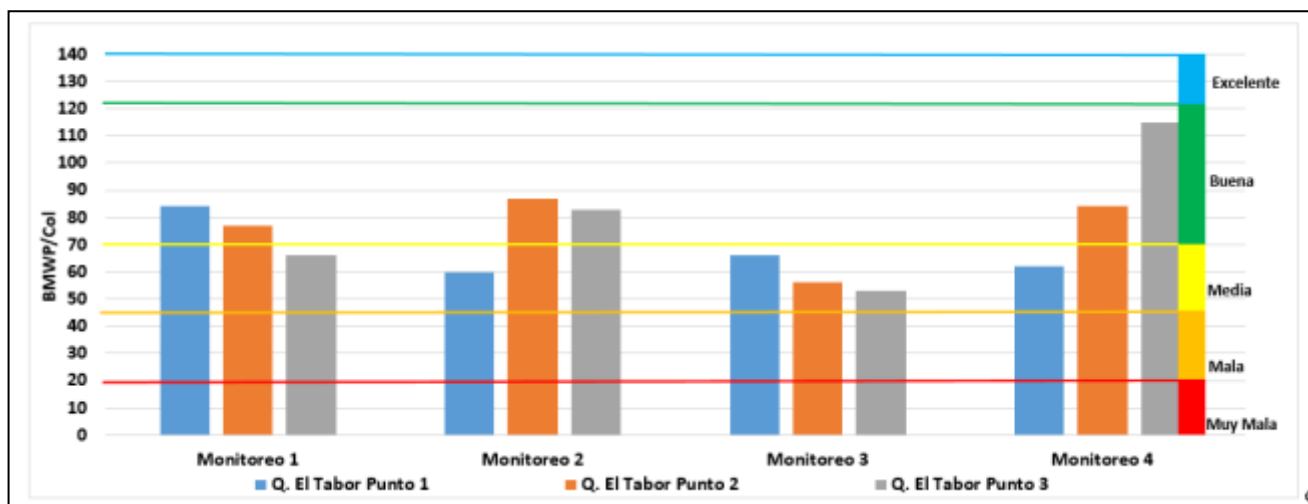


Figura 45. Comportamiento del Índice BMWP/Col en la microcuenca Quebrada El Tabor

Los valores del índice de calidad biológico (BMWP/Col) variaron entre un valor de 53 (categoría de calidad media), en el P3 del monitoreo 3 y un valor de 115 (categoría de calidad buena), en el P3 del monitoreo 4.

En la Tabla 24 y en la Figura 46 se presentan los resultados del índice de calidad biológico (BMWP/Col) para la microcuenca de La Quebrada La Yaruma en Santuario, Risaralda, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 24. Índice BMWP/Col, en la microcuenca Quebrada La Yaruma, Santuario

PRIMER MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	88	BUENA	Verde
PUNTO 2	21	MALA	Naranja
PUNTO 3	32	MALA	Naranja
SEGUNDO MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	95	BUENA	Verde
PUNTO 2	88	BUENA	Verde
PUNTO 3	22	MALA	Naranja
TERCER MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	89	BUENA	Verde
PUNTO 2	85	BUENA	Verde
PUNTO 3	48	MEDIA	Amarillo
CUARTO MONITOREO			
SANTUARIO-Q LA YARUMA	VALOR BMWP/Col	CLASIFICACIÓN	COLOR
PUNTO 1	100	BUENA	Verde
PUNTO 2	100	BUENA	Verde
PUNTO 3	73	BUENA	Verde

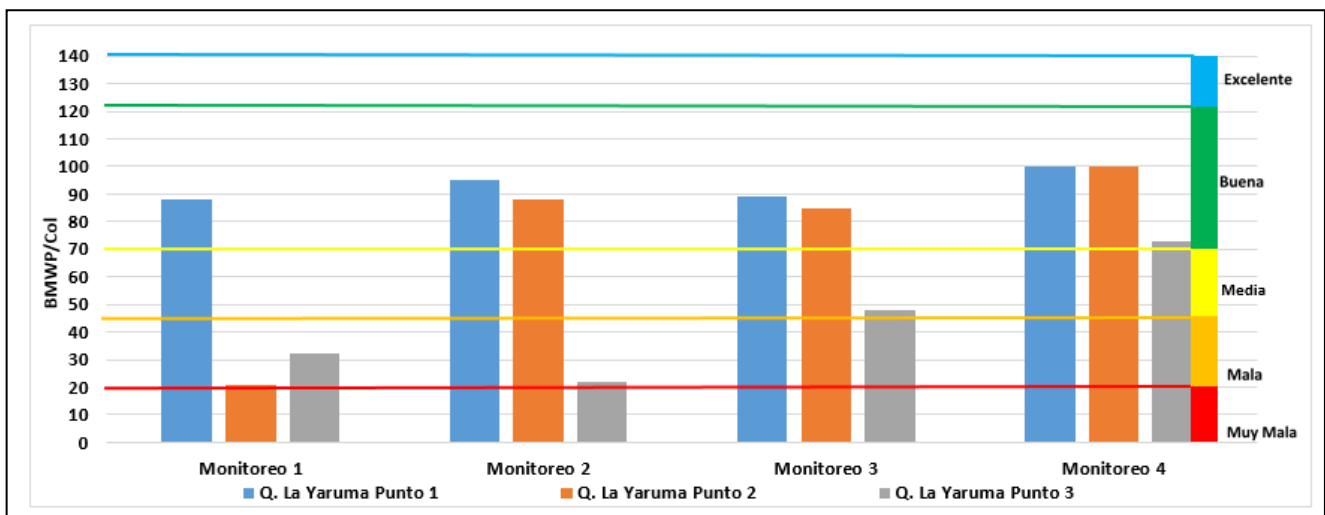


Figura 46. Comportamiento del Índice BMWP/Col en la microcuenca Quebrada La Yaruma

Los valores del índice de calidad biológico (BMWP/Col) variaron entre un valor de 21 (categoría de calidad mala), en el P2 del monitoreo 1 y un valor de 100 (categoría de calidad buena), en el P1 y P2 del monitoreo 4.

5.6. Resultados del índice físico-químico de calidad de agua, ICA-NSF

En la Tabla 25 y en la Figura 47 se presentan los resultados del índice de calidad físico-químico (ICA-NSF) para la microcuenca del Río Chambery, en Salamina, Caldas, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 25. Índice ICA-NSF, en la microcuenca del Río Chambery, Salamina

PRIMER MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	72	BUENA	
PUNTO 2	60	MEDIA	
PUNTO 3	64	MEDIA	
SEGUNDO MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	68	MEDIA	
PUNTO 2	65	MEDIA	
PUNTO 3	56	MEDIA	
TERCER MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	74	BUENA	
PUNTO 2	72	BUENA	
PUNTO 3	69	MEDIA	
CUARTO MONITOREO			
SALAMINA-RIO CHAMBERY	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	70	MEDIA	
PUNTO 2	68	MEDIA	
PUNTO 3	68	MEDIA	

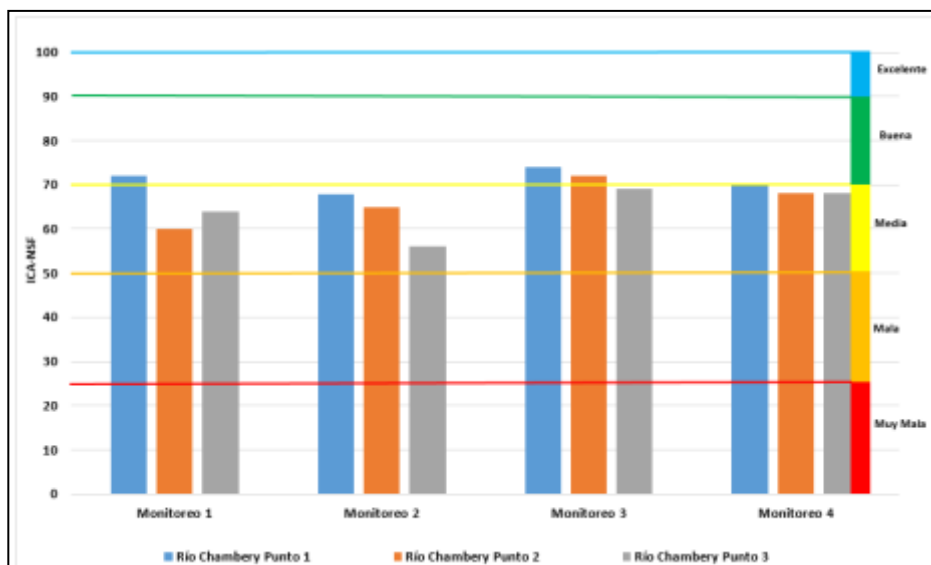


Figura 47. Comportamiento del Índice ICA-NSF en la microcuenca del Río Chambery

Los valores del índice de calidad físico-químico (ICA-NSF) variaron entre un valor de 56 (categoría de calidad media), en el P3 del monitoreo 2 y un valor de 74 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 3.

En la Tabla 26 y en la Figura 48 se presentan los resultados del índice de calidad físico-químico (ICA-NSF) para la microcuenca de La Quebrada El Tabor, en Balboa, Risaralda, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 26. Índice ICA-NSF, en la microcuenca Quebrada El Tabor, Balboa

PRIMER MONITOREO			
BALBOA-Q EL TAVOR	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	63	MEDIA	
PUNTO 2	66	MEDIA	
PUNTO 3	64	MEDIA	
SEGUNDO MONITOREO			
BALBOA-Q EL TAVOR	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	73	BUENA	
PUNTO 2	70	MEDIA	
PUNTO 3	65	MEDIA	
TERCER MONITOREO			
BALBOA-Q EL TAVOR	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	72	BUENA	
PUNTO 2	71	BUENA	
PUNTO 3	71	BUENA	
CUARTO MONITOREO			
BALBOA-Q EL TAVOR	VALOR ICA-NSF	RANGO/CALIDAD	COLOR
PUNTO 1	81	BUENA	
PUNTO 2	77	BUENA	
PUNTO 3	76	BUENA	

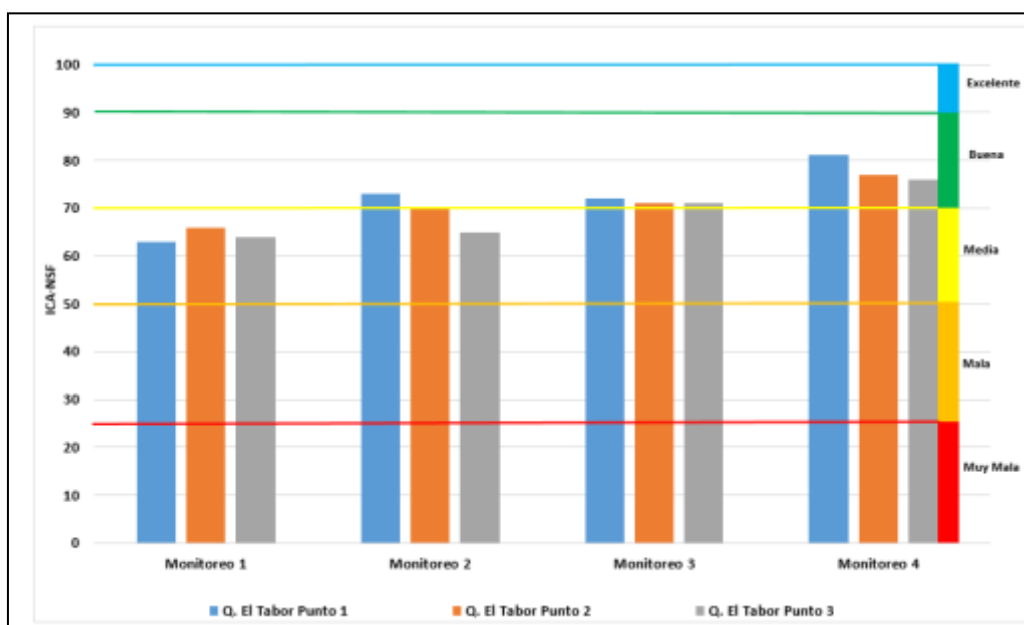


Figura 48. Comportamiento del Índice ICA-NSF en la microcuenca Quebrada El Tabor

Los valores del índice de calidad físico-químico (ICA-NSF) variaron entre un valor de 63 (categoría de calidad media), en el P1 del monitoreo 1 y un valor de 81 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 4.

En la Tabla 27 y en la Figura 49 se presentan los resultados del índice de calidad físico-químico para la microcuenca Quebrada La Yaruma en Santuario, Risaralda, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 27. Índice ICA-NSF, en la microcuenca Quebrada La Yaruma

PRIMER MONITOREO			
SANTUARIO Q. LA YARUMA	VALOR ICA-NSF	RANGO COLOR	COLOR
PUNTO 1	69	MEDIA	
PUNTO 2	72	BUENA	
PUNTO 3	64	MEDIA	
SEGUNDO MONITOREO			
SANTUARIO Q. LA YARUMA	VALOR ICA-NSF	RANGO COLOR	COLOR
PUNTO 1	76	BUENA	
PUNTO 2	73	BUENA	
PUNTO 3	71	BUENA	
TERCER MONITOREO			
SANTUARIO Q. LA YARUMA	VALOR ICA-NSF	RANGO COLOR	COLOR
PUNTO 1	72	BUENA	
PUNTO 2	73	BUENA	
PUNTO 3	67	MEDIA	
CUARTO MONITOREO			
SANTUARIO Q. LA YARUMA	VALOR ICA-NSF	RANGO COLOR	COLOR
PUNTO 1	75	BUENA	
PUNTO 2	72	BUENA	
PUNTO 3	70	MEDIA	

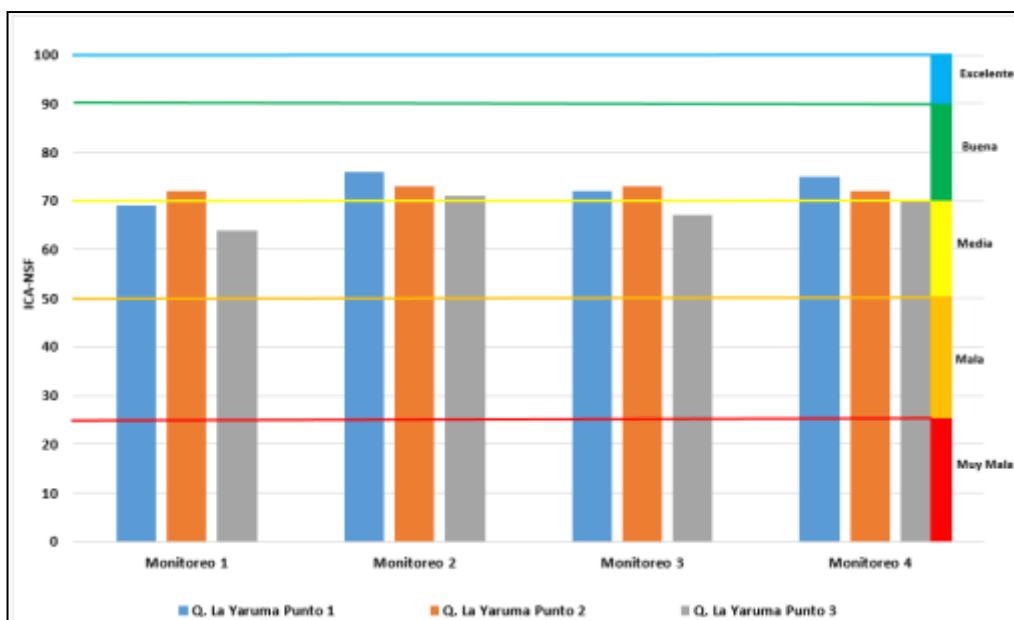


Figura 49. Comportamiento del Índice ICA-NSF en la microcuenca Quebrada La Yaruma

Los valores del índice de calidad físico-químico (ICA-NSF) variaron entre un valor de 64 (categoría de calidad media), en el P3 del monitoreo 1 y un valor de 76 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 2.

5.7. Resultados del Índice Global de Calidad

En la Tabla 28 y en la Figura 50 se presentan los resultados del índice global de calidad para la microcuenca del Río Chambery, en Salamina, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 28. Índice global de calidad en la microcuenca del Río Chambery, Salamina

PRIMER MONITOREO	
SALAMINA-RIO CHAMBERY	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,64
ESTACIÓN 2	0,53
ESTACIÓN 3	0,51
SEGUNDO MONITOREO	
SALAMINA-RIO CHAMBERY	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,58
ESTACIÓN 2	0,44
ESTACIÓN 3	0,38
TERCER MONITOREO	
SALAMINA-RIO CHAMBERY	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,72
ESTACIÓN 2	0,65
ESTACIÓN 3	0,50
CUARTO MONITOREO	
SALAMINA-RIO CHAMBERY	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,63
ESTACIÓN 2	0,65
ESTACIÓN 3	0,59

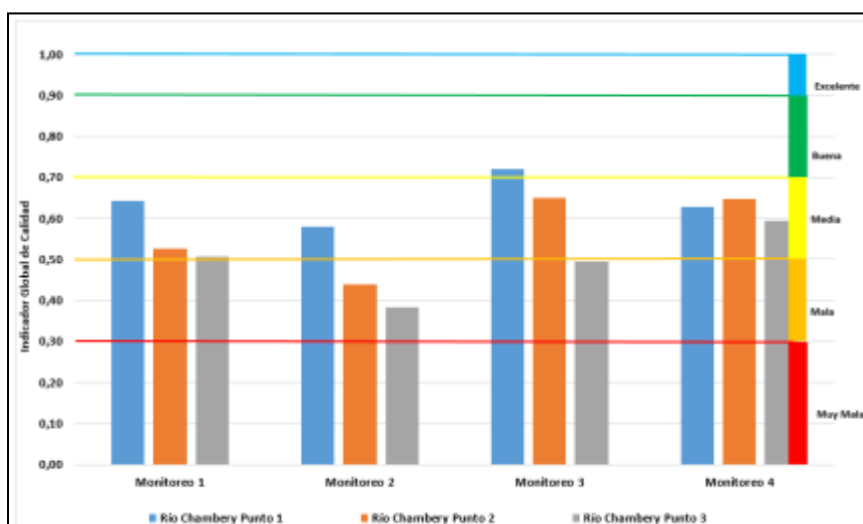


Figura 50. Comportamiento del Índice global de calidad microcuenca del Río Chambery

Los valores del índice global de calidad variaron entre un valor de 0,38 (categoría de calidad mala), en el P3 del monitoreo 2 y un valor de 0,72 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 3.

En la Tabla 29 y en la Figura 51 se presentan los resultados del índice global de calidad para la microcuenca de La Quebrada El Tabor, en Balboa, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 29. Índice global de calidad en la microcuenca Quebrada El Tabor

PRIMER MONITOREO	
BALBOA-Q EL TABOR	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,68
ESTACIÓN 2	0,67
ESTACIÓN 3	0,61
SEGUNDO MONITOREO	
BALBOA-Q EL TABOR	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,66
ESTACIÓN 2	0,69
ESTACIÓN 3	0,66
TERCER MONITOREO	
BALBOA-Q EL TABOR	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,67
ESTACIÓN 2	0,59
ESTACIÓN 3	0,56
CUARTO MONITOREO	
BALBOA-Q EL TABOR	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,69
ESTACIÓN 2	0,68
ESTACIÓN 3	0,75

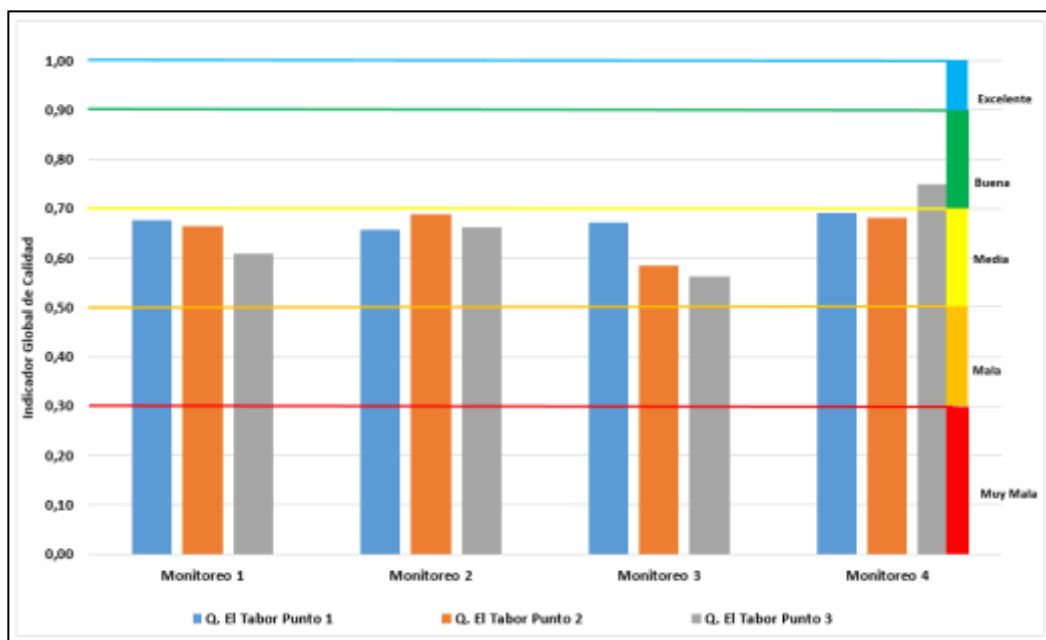


Figura 51. Comportamiento del Índice global de calidad, Quebrada El Tabor

Los valores del índice global de calidad variaron entre un valor de 0,56 (categoría de calidad media), en el P3 del monitoreo 3 y un valor de 0,75 (categoría de calidad buena), en el P3 del monitoreo 4.

En la Tabla 30 y en la Figura 52 se presentan los resultados del índice global de calidad para la microcuenca de La Quebrada La Yaruma, en Santuario, en las 4 campañas de monitoreo realizadas.

Tabla 30. Índice global de calidad en la microcuenca Quebrada La Yaruma

PRIMER MONITOREO	
SANTUARIO Q. LA YARUMA	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,72
ESTACIÓN 2	0,48
ESTACIÓN 3	0,46
SEGUNDO MONITOREO	
SANTUARIO Q. LA YARUMA	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,75
ESTACIÓN 2	0,67
ESTACIÓN 3	0,46
TERCER MONITOREO	
SANTUARIO Q. LA YARUMA	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,72
ESTACIÓN 2	0,68
ESTACIÓN 3	0,54
CUARTO MONITOREO	
SANTUARIO Q. LA YARUMA	Índice Global de Calidad
ESTACIÓN 1	0,77
ESTACIÓN 2	0,71
ESTACIÓN 3	0,61

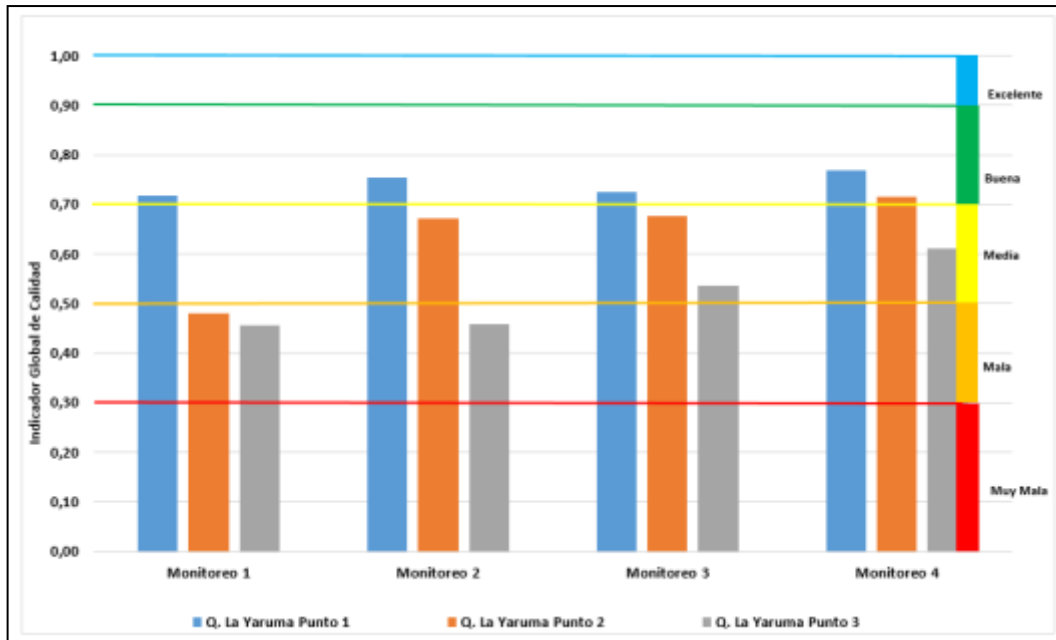


Figura 52. Comportamiento del Índice global de calidad, Quebrada La Yaruma

Los valores del índice global de calidad variaron entre un valor de 0,46 (categoría de calidad mala), en el P3 de los monitoreos 1 y 2 y un valor de 0,77 (categoría de calidad buena), en el P1 del monitoreo 4.

5.8. Resultados Determinación de caudales

En la Tabla 31 se presentan los resultados de los caudales mínimos y medios para las diferentes campañas de monitoreo en la microcuenca del Río Chambery en Salamina.

Tabla 31. Caudales puntos de monitoreo, Río Chambery

Río Chambery	Ancho cauce (m ²)	Caudal mínimo m ³ /s	Caudal medio m ³ /s
PRIMER MONITOREO			
Punto 1	2,363	0,932	1,744
Punto 2	2,039	1,079	1,583
Punto 3	4,560	1,774	2,998
SEGUNDO MONITOREO			
Punto 1	2,462	1,165	3,322
Punto 2	5,643	1,124	5,716
Punto 3	5,737	4,050	7,079
TERCER MONITOREO			
Punto 1	1,732	0,275	1,728
Punto 2	2,163	0,322	1,059
Punto 3	4,471	2,555	4,294
CUARTO MONITOREO			
Punto 1	1,968	0,325	1,102
Punto 2	4,317	0,793	3,259
Punto 3	4,084	1,689	2,999

Durante las cuatro campañas de monitoreo, el Río Chambery presentó un caudal mínimo que osciló entre 0,275 m³/s (punto 1, campaña 3) y 4,050 m³/s (punto 3, campaña 2) y un caudal medio que osciló entre 1,059 m³/s (punto 2, campaña 3) y 7,079 m³/s (punto 3, campaña 2).

En la Tabla 32 se presentan los resultados de los caudales mínimos y medios para las diferentes campañas de monitoreo en la microcuenca de La Quebrada El Tabor en Balboa.

Durante las cuatro campañas de monitoreo, La Quebrada El Tabor presentó un caudal mínimo que osciló entre 0,005 m³/s (punto 1, campaña 4) y 0,109 m³/s (punto 3, campaña 3) y un caudal medio que osciló entre 0,011 m³/s (punto 1, campaña 4) y 0,268 m³/s (punto 3, campaña 3).

En la Tabla 33 se presentan los resultados de los caudales mínimos y medios para las diferentes campañas de monitoreo en la microcuenca de La Quebrada La Yaruma en Santuario.

Durante las cuatro campañas de monitoreo, La Quebrada La Yaruma presentó un caudal mínimo que osciló entre 0,006 m³/s (punto 1, campaña 4) y 0,130 m³/s (punto 2, campaña 2) y un caudal medio que osciló entre 0,012 m³/s (punto 1, campaña 4) y 0,546 m³/s (punto 3, campaña 2).

Tabla 32. Caudales puntos de monitoreo, Quebrada El Tabor

Q. El Tabor	Ancho cauce (m ²)	Caudal mínimo m ³ /s	Caudal medio m ³ /s
PRIMER MONITOREO			
Punto 1	0,108	0,015	0,024
Punto 2	0,093	0,045	0,056
Punto 3	0,370	0,075	0,145
SEGUNDO MONITOREO			
Punto 1	0,215	0,015	0,040
Punto 2	0,105	0,015	0,048
Punto 3	0,381	0,078	0,177
TERCER MONITOREO			
Punto 1	0,128	0,022	0,052
Punto 2	0,106	0,027	0,053
Punto 3	0,437	0,109	0,268
CUARTO MONITOREO			
Punto 1	0,040	0,005	0,011
Punto 2	0,070	0,007	0,021
Punto 3	0,260	0,048	0,138

Tabla 33. Caudales puntos de monitoreo, Quebrada La Yaruma

Q. LA YARUMA	Ancho cauce (m ²)	Caudal mínimo m ³ /s	Caudal medio m ³ /s
PRIMER MONITOREO			
Punto 1	0,043	0,016	0,023
Punto 2	0,330	0,125	0,185
Punto 3	0,400	0,110	0,241
SEGUNDO MONITOREO			
Punto 1	0,053	0,010	0,020
Punto 2	0,529	0,130	0,351
Punto 3	0,724	0,072	0,546
TERCER MONITOREO			
Punto 1	0,044	0,017	0,032
Punto 2	0,243	0,038	0,117
Punto 3	0,297	0,086	0,146
CUARTO MONITOREO			
Punto 1	0,044	0,006	0,012
Punto 2	0,295	0,029	0,205
Punto 3	0,452	0,112	0,273

5.9. Resultados Índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad de agua (IVTDH)

En la Tabla 34 se condensan los resultados del IVTDH para los diferentes transectos de las microcuencas en las 4 campañas de monitoreo, presentando los resultados obtenidos para el caudal medio, el caudal de calidad, el caudal ecológico y el índice global de calidad.

Tabla 34. IVTDH en los diferentes transectos de las microcuencas en las 4 campañas de monitoreo e IVTDH promedio en los diferentes transectos de las microcuencas

Microcuenca	Q _{med} m ³ /s	Q _{cal} m ³ /s	Q _{ecol} m ³ /s	ICA _g	Monitoreo	Cosecha café	Transecto	IVTDH
Río Chambery Salamina Caldas	1,744	0,436	0,233	0,64	1	Sí	P1-P2	3,93
	1,583	0,396	0,270	0,53			P2-P3	3,39
	2,998	0,750	0,443	0,51			P1-P3	1,99
	3,322	0,831	0,291	0,58	2	No	P1-P2	10,68
	5,716	1,429	0,281	0,44			P2-P3	8,15
	7,079	1,770	1,013	0,38			P1-P3	4,58
	1,728	0,432	0,069	0,72	3	No	P1-P2	4,49
	1,059	0,265	0,080	0,65			P2-P3	4,54
	4,294	1,074	0,639	0,50			P1-P3	2,63
	1,102	0,276	0,081	0,63	4	Sí	P1-P2	6,46
	3,259	0,815	0,198	0,65			P2-P3	6,04
	2,999	0,750	0,422	0,59			P1-P3	2,80
Quebrada El Tabor Balboa Risaralda	0,024	0,006	0,004	0,68	1	No	P1-P2	0,69
	0,056	0,014	0,011	0,67			P2-P3	3,19
	0,145	0,036	0,019	0,61			P1-P3	0,86
	0,040	0,010	0,004	0,66	2	Sí	P1-P2	0,90
	0,048	0,012	0,004	0,69			P2-P3	4,05
	0,177	0,044	0,019	0,66			P1-P3	1,12
	0,052	0,013	0,005	0,67	3	No	P1-P2	0,95
	0,053	0,013	0,007	0,59			P2-P3	4,90
	0,268	0,067	0,027	0,56			P1-P3	1,42
	0,011	0,003	0,001	0,69	4	Sí	P1-P2	0,32
	0,021	0,005	0,002	0,68			P2-P3	3,11
0,138	0,035	0,012	0,75	P1-P3			0,77	
Quebrada La Yaruma. Santuario Risaralda	0,023	0,006	0,004	0,72	1	Sí	P1-P2	1,64
	0,185	0,046	0,031	0,48			P2-P3	2,34
	0,241	0,060	0,028	0,46			P1-P3	1,05
	0,020	0,005	0,003	0,75	2	No	P1-P2	3,91
	0,351	0,088	0,033	0,67			P2-P3	6,71
	0,546	0,137	0,018	0,46			P1-P3	2,75
	0,032	0,008	0,004	0,72	3	No	P1-P2	1,56
	0,117	0,029	0,009	0,68			P2-P3	1,94
	0,146	0,037	0,021	0,54			P1-P3	0,83
	0,012	0,003	0,002	0,77	4	Sí	P1-P2	2,59
	0,205	0,051	0,007	0,71			P2-P3	4,07
0,273	0,068	0,028	0,61	P1-P3			1,59	
IVTDH promedio en los diferentes transectos de las microcuencas								
Microcuenca	Q _{med} m ³ /s	Q _{cal} m ³ /s	Q _{ecol} m ³ /s	ICA _g	Monitoreo		Transecto	IVTDH
Río Chambery Salamina Caldas	2,439	0,610	0,188	0,61	1 a 4		P1-P2	6,39
	3,623	0,906	0,418	0,53		P2-P3	5,53	
	3,074	0,768	0,335	0,57		P1-P3	3,00	
Q. El Tabor Balboa Risaralda	0,038	0,010	0,005	0,67	1 a 4		P1-P2	0,71
	0,113	0,028	0,013	0,65		P2-P3	3,81	
	0,086	0,022	0,010	0,66		P1-P3	1,04	
Q. La Yaruma. Santuario Risaralda	0,118	0,030	0,012	0,69	1 a 4		P1-P2	2,43
	0,258	0,065	0,022	0,58		P2-P3	3,76	
	0,179	0,045	0,016	0,63		P1-P3	1,55	

Para el cálculo del IVTDH en la microcuenca del Río Chambery en el municipio de Salamina se utilizó como población entre los puntos 1 y 3 del monitoreo un valor de 6624 personas, de acuerdo con las proyecciones del DANE para el año 2015, dado que este es el cuerpo de agua principal del municipio.

De acuerdo con la distribución de las fincas IDRC evaluadas en la zona, se realizó un estimativo de la distribución general de la población entre los puntos de monitoreo 1 y 2, obteniéndose un valor de 2749 personas y entre los puntos de monitoreo 2 y 3, obteniéndose un valor de 3875 personas.

Los resultados permiten determinar que no se presenta vulnerabilidad a la disponibilidad hídrica de la población asentada en la microcuenca del río Chambery en Salamina, Caldas, siendo mayor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y medias de la microcuenca. De igual forma la tendencia es un mayor valor del índice en la época en la cual no hay cosecha de café, probablemente por la menor extracción de agua en la microcuenca y la menor generación de aguas residuales en el territorio.

El valor promedio del índice de vulnerabilidad, en las 4 campañas de monitoreo, fue de 6,39 para la población asentada entre la estación 1 y 2 de monitoreo; de 5,53 para la población asentada entre la estación 2 y 3 de monitoreo y de 3,00 para la población asentada entre la estación 1 y la estación 3 de monitoreo; todos estos valores están dentro de la categoría de no vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico.

Para el cálculo del IVTDH en la microcuenca de La Quebrada El Tabor, en Balboa, Risaralda, se utilizó como población entre los puntos 1 y 3 del monitoreo el número de fincas con una cercanía menor a 1000 m, al cuerpo de agua, obteniéndose un valor de 127 fincas y estimando un valor promedio de 5 personas/finca, para un total de la población en la zona de influencia del cuerpo de agua de 635.

De acuerdo con la distribución de las fincas IDRC evaluadas en la zona, se realizó un estimativo de la distribución general de la población entre los puntos de monitoreo 1 y 2, obteniéndose un valor de 410 personas y entre los puntos de monitoreo 2 y 3, obteniéndose un valor de 225 personas.

Los resultados permiten determinar que existen períodos de tiempo y transectos en los cuales se presenta vulnerabilidad baja, media y alta a la disponibilidad del recurso hídrico de la población asentada en la microcuenca de la Quebrada El Tabor, en Balboa, Risaralda, siendo menor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y bajas de la microcuenca. De igual forma los menores valores del índice se encontraron en la época en la cual había cosecha de café, probablemente por la mayor extracción de agua en la microcuenca y la mayor generación de aguas residuales en el territorio que terminan llegando al cuerpo de agua deteriorando su calidad.

El valor promedio del índice de vulnerabilidad, en las 4 campañas de monitoreo, fue de 0,71 para la población asentada entre la estación 1 y 2 de monitoreo; valor que está dentro de la categoría de vulnerabilidad media a la disponibilidad del recurso hídrico; de 3,81 para la población asentada entre la estación 2 y 3 de monitoreo, valor que está dentro de la categoría de no vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico y de 1,04 para la población asentada entre la estación 1 y la estación 3 de monitoreo; que si bien está dentro de la

categoría de no vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico, es muy cercano al rango de la categoría de vulnerabilidad baja.

Para el cálculo del IVTDH en la microcuenca de La Quebrada La Yaruma, en Santuario, Risaralda, se utilizó como población entre los puntos 1 y 3 del monitoreo el número de fincas con una cercanía menor a 1000 m, al cuerpo de agua, obteniéndose un valor de 179 fincas y estimando un valor promedio de 5 personas/finca, para un total de la población en la zona de influencia del cuerpo de agua de 895.

De acuerdo con la distribución de las fincas IDRC evaluadas en la zona, se realizó un estimativo de la distribución general de la población entre los puntos de monitoreo 1 y 2, obteniéndose un valor de 409 personas y entre los puntos de monitoreo 2 y 3, obteniéndose un valor de 486 personas.

Los resultados permiten determinar que existen períodos de tiempo y transectos en los cuales se presenta vulnerabilidad baja a la disponibilidad del recurso hídrico de la población asentada en la microcuenca de la Quebrada La Yaruma, en Santuario, Risaralda, siendo menor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y bajas de la microcuenca.

El valor promedio del índice de vulnerabilidad, en las 4 campañas de monitoreo, fue de 2,43 para la población asentada entre la estación 1 y 2 de monitoreo; de 3,76 para la población asentada entre la estación 2 y 3 de monitoreo y de 1,55 para la población asentada entre la estación 1 y la estación 3 de monitoreo; todos estos valores están dentro de la categoría de no vulnerabilidad a la disponibilidad del recurso hídrico.

6. CONCLUSIONES

1. La generación de un índice de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad hídrica que integre variables como el caudal ecológico, el caudal de calidad, la calidad físico-química, biológica y de hábitat de los cuerpos de agua y la población que habita en los cuerpos de agua se constituye en una herramienta eficaz para evaluar el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica y para generar y establecer estrategias que permitan disminuir el riesgo de vulnerabilidad a la disponibilidad hídrica en los territorios.
2. El estudio hidrobiológico de las microcuencas evaluadas, bajo diferentes gradientes altitudinales, permitió conocer parte de la dinámica ecosistémica dada en zonas de alto impacto y evidenciar como la calidad de los cauces se va deteriorando a medida que llega a zonas bajas, en donde la presión y demanda sobre el recurso hídrico se acrecienta.
3. La integración del componente biológico, físico-químico y de hábitat en un índice, posibilita que todos los elementos del ecosistema interactúen y confluyan de manera equitativa y favorezcan la emisión de un diagnóstico ambiental, oportuno, eficaz y acorde a las condiciones y dinámica natural del sistema.
4. En los sistemas lóticos, se observó de manera persistente una desprotección y degradación de las riberas, que a mediano plazo, produce una transformación general y un desajuste en las condiciones ofertadas por el medio, en donde la alteración de condiciones físicas y químicas, restringen el establecimiento, permanencia y crecimiento poblacional de las comunidades.
5. Los constantes cambios del micro-hábitat alteran la dinámica usual del ecosistema en su componente biótico y abiótico y conlleva a desequilibrar la estructura y composición de las comunidades, permitiendo la dominancia de algunos ensamblajes y disminuyendo ciertos recursos, lo que finalmente obliga a una reestructuración de toda la comunidad y empobrecimiento de la bio-diversidad.
6. Los resultados permiten determinar que no se presenta vulnerabilidad a la disponibilidad hídrica de la población asentada en la microcuenca del río Chambery en Salamina, Caldas, siendo mayor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y medias de la microcuenca. La tendencia es un mayor valor del índice en la época en la cual no hay cosecha de café, probablemente por la menor extracción de agua en la microcuenca y la menor generación de aguas residuales en el territorio.
7. Para la población asentada en la microcuenca de la Quebrada El Tabor, en Balboa, Risaralda, los resultados permiten determinar que existen períodos de tiempo y transectos en el cuerpo del agua en los cuales se presenta vulnerabilidad baja, media y alta a la disponibilidad del recurso hídrico, siendo menor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y bajas de la microcuenca. Los menores valores del índice se encontraron en la época de cosecha de café, en la cual hay mayor extracción de agua en la microcuenca y mayor generación de aguas residuales en el territorio.
8. Para la población asentada en la microcuenca de la Quebrada La Yaruma, en Santuario, Risaralda, los resultados permiten determinar que existen períodos de tiempo y transectos en los cuales se presenta vulnerabilidad baja a la disponibilidad del recurso hídrico, siendo menor el valor del índice para la población asentada en las partes altas y bajas de la microcuenca.

7. RECOMENDACIONES

1. El aumento en la competencia por el uso del agua (en cantidad y calidad), evidencia la importancia de generar un manejo integral del recurso en cada microcuenca, haciendo partícipes a entidades públicas, privadas y usuarios del sector, con políticas que incluyan la buena gobernanza y una apropiada educación ambiental.
2. La gestión integral del recurso hídrico debe incorporar el diagnóstico ambiental sobre la calidad y la cantidad del recurso hídrico, siendo importante generar información periódica, por varias temporadas, que permita obtener datos sólidos acerca del comportamiento de los indicadores fisicoquímicos, biológicos y de hábitat de las microcuencas y la variación de su caudal para diversas condiciones climáticas y socioeconómicas.
3. Es indispensable realizar la protección de toda la microcuenca, parte alta, media y baja, respetando las rondas hídricas, reforestando las riberas y manteniendo la cobertura del suelo, como una contribución a conservar la cantidad y la calidad del agua.
4. Es de vital importancia el cuidado de los recursos hídricos de la región, a partir del uso racional del recurso agua en los procesos productivos y el reúso del agua como estrategia para disminuir la presión sobre el recurso superficial, no sólo en lo relacionado con la cantidad de agua presente en la cuenca (dado que se disminuye su extracción), sino también en lo relacionado con la calidad del agua en la cuenca (dado que al no arrojar aguas residuales se disminuye el deterioro de la calidad del agua en la fuente).
5. La aplicación de un modelo de Gestión integral del recurso hídrico que periódicamente esté evaluando, en campo, la oferta hídrica en cantidad y calidad es fundamental para disminuir el riesgo de vulnerabilidad del territorio a la disponibilidad hídrica, no sólo ante amenazas como el cambio climático, sino también ante amenazas como el incremento de la población y el cambio en las actividades socio-económicas de los territorios.

8. BIBLIOGRAFÍA

ALBA T., J.; SÁNCHEZ, A. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell. *Limnetica*. 1988. 4: 51-56.

ALBA T., J.; JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; BONADA, N.; CASAS, J.; MELLADO, A.; ORTEGA, I.; PARDO, M.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; ROBLES, S.; SÁINZ-CANTERO, C.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, M.; TORO, M.; VIDAL-ABARCA, R.; VIVAS, S.; ZAMORA-MUÑOZ, C. Caracterización del estado ecológico de ríos mediterráneos ibéricos mediante el índice IBMWP (antes BMWP^o). *Limnetica*. 2004. 21(3-4): 175-182.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE SALAMINA. Plan de ordenamiento territorial. Documento Técnico de soporte. 2001. 194 p.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE SANTUARIO. Plan de ordenamiento territorial. Documento Técnico de soporte. 2000. 68 p.

APHA; AWWA; WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid : Díaz de Santos, 1992. 1914 p.

BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B.D.; STRIBLING, J.B. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, Benthic macroinvertebrates and fish 2nd. ed. Washington : Environmental protection agency, 1999. 334 p.

BARRENECHEA MARTEL, A. El agua. calidad y tratamiento para consumo humano Manual I: Teoría. El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima. 2004. 109 pp.

CENICAFÉ. Construyendo el modelo para la gestión integrada del recurso hídrico en la caficultura colombiana: Documento presentado para el premio Planeta azul 2010-2011. Chinchiná : CENICAFE, 2011. 90 p.

CONCEJO MUNICIPAL DE SALAMINA. Plan de desarrollo municipal 2012-2015. 64 p. 2012.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA (CARDER). Desarrollo de un Soporte Técnico para la Implementación de las Tasas Retributivas en los Ríos Apia, Risaralda, Cauca, Mapa, Monos, Tatamá, San Eugenio y las Quebradas Cuba, Cristales, Chapatá, El Pueblo, Lavapies, Dosquebradas, Socavón, Matadero, La Unión y La Bomba. Pereira. 2006.

CHOVANEC, A; WARINGER, J; RAAB, R; LAISTER, G; 2004. Lateral connectivity of a fragmented large river system: assessment on a macroscale by dragonfly surveys (Insecta: Odonata). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 14 (2):163-178.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Estimación y proyección de población nacional y municipal total por área 1985-2020. On Line. Dponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>. Fecha de consulta. Enero del 2018.

DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H.R. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, sistemática y biología. San Miguel de Tucumán : Fundación Miguel Lillo, 2009. 656 p.

DOMÍNGUEZ, E.; MOLINERI, C.; PESCADOR, M.; HUBBARD, M.; NIETO, C. Ephemeroptera de América del sur. Sofia : Pensoft 2006. 646 p.

ESCOBAR, A. Estudio de las comunidades macrobénticas en el río Manzanares y sus principales afluentes y su relación con la calidad del agua. Actualidades Biológicas. 1989. 18 (65) 45-59.

FALKENMARK, M. The massive water scarcity threatening Africa-why isn't it being addressed. *Ambio* 18, no. 2 (1989): 112-118.

FERRINGTON, L.C. Global diversity of non-biting midges (Chironomidae; Insecta-Diptera) in freshwater. *Hydrobiologia.*, 2008.595: 447-455.

GARCÍA, J.C. Caracterización de los sistemas de producción en el período 2006 – 2015 en los municipios cafeteros de Santuario, Balboa y Salamina – Proyecto IDRC. Cenicafé. 2016. 13 p.

GARRIDO C., A. El agua como fuente de conflictos. Estudio de la cuenca del Eufrates y Tigris. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 2007. 125 p.

HENRIQUES-OLIVEIRA, A.L.; NESSIMIAN, J.L.; DORVILLÉ, L.F. Feeding habits of Chironomid larvae (Insecta: Diptera) from a stream in the Floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 63. 2003. (2): 269-281.

IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá D.C.; IDEAM, 2015. 496 p.

IDEAM; MAVDT. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Bogotá : IDEAM, 2002. 83 p.

IDEAM; MAVDT. Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá : IDEAM, 2007. 162 p.

JOHNSON, D.M; C.L. PIERCE; T.H. MARTIN; C.N. WATSON; R.E. BOHANAN & P.H. CROWLEY. 1987 Prey depletion by odonate larvae: combining evidence from multiple field experiments. *Ecology* 68: 1459-1465.

MERRITT, R.W.; CUMMINS, K.W. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 3 ed. Kendall /Hunt Publishing, Iowa, 34 Padilla Gil D. Los Hemípteros acuáticos del municipio de Tumaco (Nariño, Colombia). Guía Ilustrada. Editorial Universitaria-Universidad de Nariño 1996. 862 p.

PADILLA GIL, D. (2012). Los Hemípteros acuáticos del municipio de Tumaco (Nariño, Colombia). Guía Ilustrada. Editorial Universitaria-Universidad de Nariño.

PRAT, N.; RIERADEVALL, M. Guía para el reconocimiento de larvas de chironomidae (díptera) de los ríos de Ecuador y Perú: Clave para la determinación de los géneros. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2011. 78 p.

PRAT, N.; RÍOS, B.; ACOSTA, R.; RIERADEVALL, M. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. p. 631-654. En: DOMÍNGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, H.R. Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Tucumán : Fundación Miguel Lillo, 2009. 656 p.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 0865 del 2004. Bogotá. Colombia. 2004. 15 p.

RIVERA, R. Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los andes venezolanos: Tesis, Universidad de los Andes, Mérida. 2004.

RODRÍGUEZ V., N.; GALEANO S., J. A.; QUINTERO Y., L. V.; CASTAÑEDA, S.A. Estudios de cantidad y calidad del agua en regiones cafeteras colombianas para la generación de índices de vulnerabilidad del territorio. Cenicafé. Septiembre del 2017. 51 p.

ROLDÁN P., G. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia, 2003. 170 p.

ROLDÁN P., G. Los macroinvertebrados y su valor como bioindicadores de la calidad del agua. Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales 23(88):375-387. 1999.

ROLDÁN P., G. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia, Pama Editores Ltda. Bogotá. Colombia. 1996. 217 p.

ROLDÁN P., G. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992. 529 p.

ROLDÁN P., G. Los invertebrados acuáticos como indicadores ecológicos. Actualidades Biológicas. 9(33):86-91.1980.

ROLDÁN P., G.; RAMÍREZ, J.J. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 2008. 529 p.

ROLDÁN P., G.; RAMÍREZ, G.A.; VIÑA, V.G. Limnología colombiana: Aportes a su conocimiento y estadística de análisis. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 1988. 290 p.

ROLDÁN P, G.; BUILES, J.; TRUJILLO, C.M.; SUÁREZ, A. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. Actualidades Biológicas 2(4): 54-64.1973.

ROSA, B.J.; RODRIGUES, L.F.; DE OLIVEIRA, G.S.; DA GAMA, R. Chironomidae and Oligochaeta for water quality evaluation in an urban river in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11): 7771-7779. 2014.

ROSE, J. B.; GRIMES, D. J. Revaluation of microbial water quality: Powerful new tools for detection and risk assessment. A report from the American Academy of Microbiology. Washington, DC, USA. 2001

SEGNINI, S. El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos*, 16 (2): 45-63. 2003.

SERMEÑO C., J.M.; PÉREZ, D.; MUÑOZ A., S.M.; SERRANO C., L.; RIVAS F., A.W.; MONTERROSA U., A.J. Metodología estandarizada de muestreo multi hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la red "D" en ríos de El Salvador: Proyecto universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). San Salvador : UES, 2010. 26 p.

USDA; NRCS. Stream visual assessment protocol: National water and climate center technical note 99-1. Washington : USDA, 1998. 45 p.

USDA; NRCS. Stream visual assessment protocol version 2. Colorado : USDA, 2012. 74 p.

WIGGINS, G.B. Caddisflies: the underwater architects. University of Toronto Press, Toronto, Buffalo, London, 2004. 291 p.

WILKES UNIVERSITY. Center for environmental quality: Environmental engineering and earth sciences calculating NSF water quality index. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>. Consultado el mayo del 2017.

WISSINGER, S.A; MCGRADY, J. 1993 Intraguild predation and competition between larval drangonflies: direct and indirect effects on shared prey. *Ecology* 74: 207-218.

ZÚÑIGA, M. DEL C. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. Cali: IREHISA: EIDENAR : Universidad del Valle, 2009. 31 p.

ZÚÑIGA, M. DEL C.; ROJAS DE H., A. Interrelación de indicadores ambientales de calidad en cuerpos de aguas superficiales del Valle del Cauca. *Revista colombiana de entomología* 20(2):124-130. 1995.