



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Ecología de macroinvertebrados en arroyos de montaña: caso de estudio ríos Sangoyaco y Taruca, municipio de Mocoa, departamento del Putumayo

Soendra Mildred Cardona Betancourt

Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia

Instituto Amazónico De Investigaciones - Imani

Leticia, Amazonas, Colombia

Enero- 2021

Ecología de macroinvertebrados en arroyos de montaña: caso estudio ríos Sangoyaco y Taruca, municipio de Mocoa, departamento del Putumayo

Soendra Mildred Cardona Betancourt

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar el título de Magister en Estudios
Amazónicos

Director
Msc. Santiago R. Duque.

Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia
Instituto Amazónico De Investigaciones - Imani
Leticia, Amazonas, Colombia
Enero - 2020

Dedicatoria

Este producto se lo dedico primeramente a Dios por llenarme de sabiduría para avanzar y llegar a la etapa final; a mi esposo por apoyarme siempre en el logro de mis objetivos; a mis hijos por su haberme regalado un tiempo de su valioso tiempo; y a mi familia por su apoyo total e incondicional.

Zoe Cardona B.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme llegar a la etapa final de mi proyecto de investigación.

A mi asesor y director Msc Santiago R. Duque por su acompañamiento y dirección en el desarrollo del proyecto.

A los docentes que orientaron los diferentes espacios académicos por su valioso conocimiento.

A la Msc. Valentina Ordóñez Betancourt por su acompañamiento incondicional en todo el proceso investigativo.

A la Universidad por su compromiso de edificar y formar profesionales con compromiso y responsabilidad en su labor como personas y profesionales.

Zoe Cardona B.

Resumen

A manera descriptiva, la investigación determinó las variaciones en las características físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas en dos períodos de tiempo (lluvias y sequía), en la confluencia de los ríos Sangoyaco y La Taruca ocasionados por las aguas residuales; desde una metodología participativa se contempló asuntos limnológicos (calidad de las aguas y los macro invertebrados) y los temas sociales; estos últimos utilizando la técnica mapas parlantes permitieron consolidar procesos de representación, planeación y manejo territorial a diferentes escalas sociales, políticas, económicas y ambientales.

Los resultados de la investigación muestran que los ríos Sangoyaco y Taruca se encuentran en un promedio de aguas moderadamente contaminadas con una altísima probabilidad de continuar su degradación si la situación de vertimientos puntuales continua; la técnica de mapas parlantes logró recuperar la historia ambiental de eventos ocurridos sobre estos dos ríos Sangoyaco y taruca, y en una línea de tiempo se logró determinar como la influencia antrópica han modificado estos ecosistemas; finalmente se logra concluir que las comunidades estas dispuestas a recuperar estas fuentes hídricas a través de una planificación responsable.

Palabras claves: Sangoyaco, Taruca, confluencia, limnológicos, contaminación, variaciones

Abstract

Descriptively, the research determined the variations in the physical, chemical, microbiological and hydrobiological characteristics in two periods of time (rain and drought), at the confluence of the Sangoyaco and La Taruca rivers caused by wastewater; From a participatory methodology, limnological issues (water quality and macro invertebrates) and social issues were considered; The latter, using the talking maps technique, allowed consolidating processes of representation, planning and territorial management at different social, political, economic and environmental scales.

The results of the investigation show that the Sangoyaco and Taruca rivers are in an average of moderately polluted waters with a very high probability of continuing their degradation if the situation of punctual discharges continues; The talking maps technique managed to recover the environmental history of events that occurred on these two rivers Sangoyaco and Taruca, and in a time line it was possible to determine how the anthropic influence has modified these ecosystems; finally it is possible to conclude that the communities are willing to recover these water sources through responsible planning.

Keywords: Sangoyaco, Taruca, confluence, limnological, contamination, variations

Contenido

	Pág.
Contenido	
1. Capítulo 1. MARCO REFERENCIAL	3
1.1 Marco Teórico	3
1.2 Marco Legal.....	19
1.3 Antecedentes	22
2. Capítulo 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
2.1 Descripción del Problema	29
2.2 Pregunta de investigación.....	30
2.3 Objetivos.....	30
2.3.1 Objetivo General.....	30
2.3.2 Objetivos Específicos	30
2.4 Justificación	31
2.5 Área de estudio	32
3. Capítulo 3 METODOLOGÍA	35
3.1 Componente Limnológico	35
3.2 Componente Biótico	39
3.3 Componente Social.....	41
4. Capítulo 4 RESULTADOS	45
4.1 Evaluación de la calidad del agua a través de características físicas y químicas de la zona de estudio - ríos Sangoyaco y Taruca antes y después de su confluencia.....	46
4.2 Evaluación de la calidad del agua a través de la utilización del índice de calidad del agua -ICA-	55
4.3 Evaluación de la calidad de agua con macroinvertebrados.....	56
4.4 Análisis de la calidad del agua basados en el BMWP/col.....	60
4.5 Análisis de correlaciones	63
4.6 Evaluación ambiental con temas sociales.....	64
5. DISCUSION	77
6. Conclusiones	85
Anexos	87
Bibliografía	105

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Modelo histórico del entendimiento de un río.....	4
Figura 2-1. Perfil Longitudinal de un río y sus componentes.....	5
Figura 3-1 Modelo RCC de un río.	6
Figura 4-1. Diagrama esquemático de una red de drenaje, clasificando el orden de los ríos.....	8
Figura 5-1. Clasificación de los Indicadores.	16
Figura 6-2 Localización del área de estudio	33
Figura 7-3. Ubicación de los puntos de muestreo limnológico sobre los ríos Sangoyaco y Taruca.....	35
Figura 8-3. Detalle de los hábitats o rápidos y lentos en la zona de estudio	36
Figura 9-3. Ficha de información de campo.....	38
Figura 10-3 Utilización de la red Surber.....	40
Figura 11-4. Ingeniería de la calidad del agua.....	45
Figura 12-4. Comportamiento de algunas variables a) pH, b) STD y conductividad	49
Figura 13-4 Comportamiento de algunas variables a) OD, DBO5 y DQO y b) Nutrientes (PO4, NO2 y NO3)	51
Figura 14-4 Comportamiento de los coliformes fecales y totales.....	54
Figura 15-4 ACP de datos físicos y químicos. Siglas sitios S: Sangoyaco T: Taruca y C: Confluencia. Épocas LL: Lluvia y Se: Sequía. Hábitat R: rápido y L: Lento. Relación de números: 1 (S-LI-R) 2 (S-Se-LI) 3 (S-Se-R) 4 (S-Se-L) 5 (T-LI-R) 6 (T-LI-L) 7 (T-Se-R) 8 (T-Se-L) 9 (C-LI-R) 10 (C-LI-L) 11 (C-Se-R) y 12 (C-Se-L).....	54
Figura 16-4. Valores del ICA para el estudio	55
Figura 17-4 Análisis (tipo cajas y bigotes) de los datos por período hidrológico	58
Figura 19-4. Análisis (tipo cajas y bigotes) de hábitats estudiados.....	59
Figura 20-4. Análisis (tipo cajas y bigotes) de los datos por ecosistemas.....	59
Figura 21-4. Análisis de Correlación. DATASETS.....	63
Figura 22-4 Registro histórico evento natural año 1972.....	65
Figura 23- Registro panorámico evento natural ocurrido en 1978	66
Figura 24-4. Mapa parlante del pasado	68
Figura 25-4. Mapa parlante del presente	70
Figura 26-4. Mapa general del área y del uso del suelo.....	71
Figura 27-4. Mapa de vertimientos en el área de estudio	74
Figura 28-4 Vertimientos (detalles) en la zona de estudio	74
Figura 29-4. Mapa parlante del futuro por adultos.....	75
Figura 30-4. Mapa parlante del futuro por jóvenes.....	76

Figura 31-4 Tipos de perfiles y secciones en ríos. Para Sangoyaco y Taruca se modela con Aa+ y A. Modificado de Rosgen (1994) 80

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1 Definiciones del concepto de cuenca	9
Tabla 2-1. Clasificación de indicadores de calidad de agua.....	12
Tabla 3-1. Clasificación calidad del agua.....	13
Tabla 4-1 Índices de contaminación del agua.....	14
Tabla 5-1 Familias y su valoración BMWP/ Col.....	17
Tabla 6-1. Clasificación de las aguas, significado de acuerdo al índice BMWP/Col	17
Tabla 7-1. Relación normativa sobre los ecosistemas acuáticos de Colombia	19
Tabla 8-2. Características de ubicación del área de estudio.....	32
Tabla 9-3. Parámetros analizados y técnicas de laboratorio.....	39
Tabla 10-4. Estadística descriptiva de los datos físicos y químicos de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca. Explicación en el texto	47
Tabla 11-4 Estadística descriptiva de los datos físicos y químicos de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca. Época de lluvia	47
Tabla 12-4 Estadística descriptiva de los datos físicos y químicos de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca. Temporada de sequía	48
Tabla 13-4 Comparación de valores físicos y químicos con las normas nacionales	53
Tabla 14-4 Datos biológicos generales del estudio	57
Tabla 15-4. Estadística descriptiva de los datos biológicos	58
Tabla 16-4. Valores de BMWP calculados Sangoyaco, Taruca y Confluencia.....	61
Tabla 17-5. Tipos de agua en la Amazonia colombiana y del presente estudio.....	77
Tabla 18-5. Datos de algunos estudios de variables físicas, químicas y microbiológicas en ríos del Piedemonte amazónico colombiano y del mismo sector cordillerano en Perú	79
Tabla 19-6 Comparativo de valores BMWP.....	83

Introducción

Se han escrito muchos estudios asociados a la contaminación de los ríos y quebradas y a la problemática ambiental generada por los actos irresponsables del ser humano; inclusive la falta de políticas claras en materia de gestión ambiental para la “sostenibilidad”, hace que el problema sea cada día mayor.

Entre tanto el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] y la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica [OTCA], (2009) afirma que:

La Amazonía alberga una enorme variedad de especies de flora y fauna y es una importante área de endemismos; por ello, constituye una reserva genética de importancia mundial. Por otra parte, el agua que se genera en la cuenca amazónica representa alrededor de la quinta parte del agua de escorrentía mundial. Y no menos significativa es la función que cumplen sus bosques, que actúan como un importante sumidero de carbono que absorbe anualmente cientos de millones de toneladas de gases de efecto invernadero (p. 7).

Sin embargo, encontramos que en la mayoría de municipios de Colombia las aguas residuales (domiciliarias, comerciales, industriales, entre otras) son vertidas de manera directa sobre las fuentes hídricas que los atraviesan, caso puntual municipio de Mocoa, donde la falta de sistemas de tratamiento ha convertido los ríos en sumideros de aguas residuales, generando modificaciones en los ecosistemas que han llegado a convertirse en irreversibles.

Es así, como se la presente investigación se encaminó a determinar las variaciones en las características físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas en dos períodos de tiempo (lluvias y sequía), en la confluencia de los ríos Sangoyaco y La Taruca ocasionados por las aguas residuales. Para lograrlo fue necesario abordar en el primer capítulo algunos aportes teórico-conceptuales desde diferentes autores sobre ecosistemas lóticos, cuencas

hidrográficas, calidad del agua, índice de calidad de agua (ICA), BMWP, entre otros, que proporcionan al lector una idea más clara acerca del desarrollo de la investigación. De igual forma fue necesario citar algunas investigaciones que hacen referencia a temas sociales, debido a la importancia que cobra las comunidades aledañas a las fuentes hídricas, y como estas modifican el paisaje y los ecosistemas y como estos cambios han repercutido en impactos.

En el segundo capítulo se aborda el planteamiento del problema donde se describe la problemática del área de estudio la cual está vinculada a la zona de la confluencia de los ríos Sangoyaco y taruca, orientada por la formulación del problema y unos objetivos que direccionan el desarrollo de la investigación.

La metodología contemplada en el capítulo tres, se desarrolla en dos partes, lo asuntos limnológicos (calidad de las aguas y los macro invertebrados) y los temas sociales; estos últimos con su participación, permitiendo consolidar procesos de representación, planeación y manejo territorial a diferentes escalas sociales, políticas, económicas y ambientales.

Finalmente se presentan el capítulo cuatro los resultados y discusión; los cuales a partir de los resultados de los análisis físico, químico, microbiológico e hidrobiológico de los ríos Sangoyaco y La Taruca y su sector de confluencia, permiten conocer que los ríos Sangoyaco y Taruca se encuentran en un promedio de aguas moderadamente contaminadas con una altísima probabilidad de continuar su degradación si la situación de vertimientos puntuales continua. A sí mismo a través de la metodología de mapas parlantes se logró recuperar la historia ambiental de eventos ocurridos sobre estos dos ríos Sangoyaco y taruca, y como la influencia antrópica ha modificado estos ecosistemas; de la misma manera se logra concluir como las comunidades estas dispuestas a recuperar estas fuentes hídricas a través de una planificación responsable.

1. Capítulo 1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Marco Teórico

ECOSISTEMAS LÓTICOS

Los dos ríos analizados en este escrito son sistemas lóticos, por tanto, su entendimiento se basa en los modelos ecológicos que se han dispuesto en la literatura científica. Para Vannote, Wayne, Kenneth, Cummins, Sedell, Cushing y Robin (1980) “los ríos son ecosistemas extremadamente complejos, que tienen numerosos componentes, que en general se organizan en un eje longitudinal horizontal, donde la pendiente es la fuerza que los mueve”; sumando a ello, las condiciones geográficas son fundamentales en su formación y funcionamiento ecosistémico.

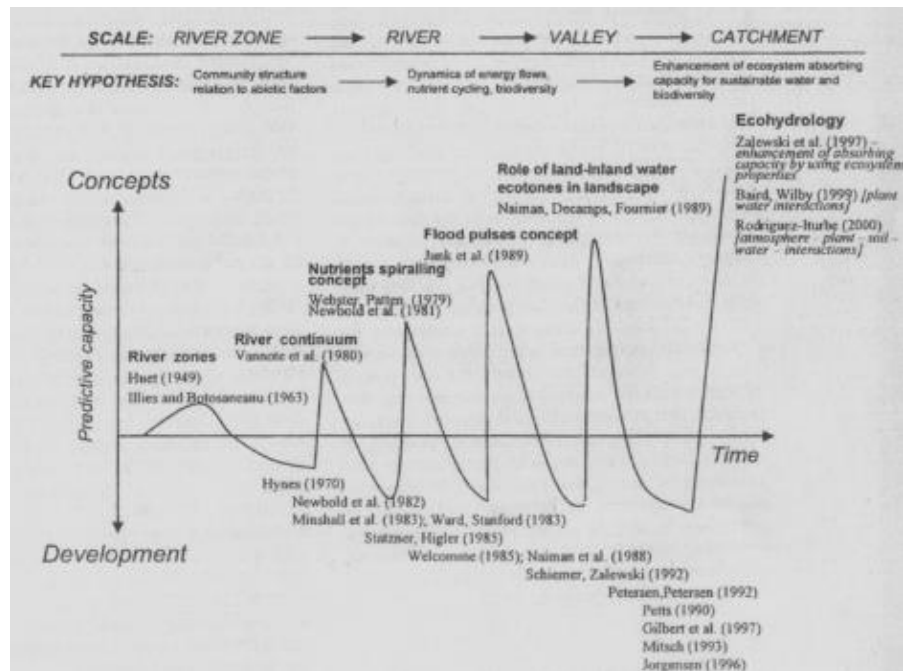
Siguiendo con estos autores la geografía hace referencia al paisaje, a la topografía y a las condiciones climáticas e hidrológicas del área. Por lo tanto, un río interacciona constantemente con su entorno y este espacio es lo que se denomina cuenca, por tanto, ella afecta su funcionamiento. Es por ello que el río es llamado un ecosistema heterotrófico (o sea que depende en esencia de los que le llega); dentro de esta condición se puede ver afectado por numerosas perturbaciones naturales, tanto hidrológicas (sequías, crecidas) como físicas (avalanchas, incendios). Además, la actividad humana ejerce una gran presión sobre los ríos y sus cuencas, que va en aumento con el crecimiento poblacional y el desarrollo, muchas veces incontrolado (Meyer, Paul y Taulbee 2005); se suman los aportes de contaminantes en diferentes secciones de la cuenca que dan lugar a la contaminación alóctona en los ríos (Betancourt y Suarez 2010).

En ríos como los ubicados en tramos altos de la cuenca (como los presentes en el piedemonte amazónico), buena parte de su funcionamiento depende de estos aportes alóctonos, mientras que, en zonas más bajas, los sistemas lóticos van ganando dependencia de sus propios procesos autóctonos (Tundisi & Tundisi-Matsumura 2008)

Los ríos por tanto desde un inicio se han zonificado y es así que los primeros aportes teóricos de su entendimiento fue al hablar de las partes altas, medias y bajas del sistema (Figura 1-1); sin embargo y como se ve la figura, con el tiempo y como se ha comentado atrás, la cuenca es

fundamental en su funcionamiento, por ello los últimos modelos incluyen y hoy día se habla incluso de una nueva disciplina que es la ecohidrología, que tiene sus propios modelos y paradigmas científicos que la alejan un poco de la limnología tradicional, que ahora se vería como la disciplina que estudia los ambientes lénticos.

Figura 1-1. Modelo histórico del entendimiento de un río.



Fuente. Tomada de Quintero & Mejía (2006) citado de original de Zalewski, Janauer, & Jolánkai, 1997)

La ecohidrología definida por Zalewsky como una nueva disciplina integral ha permitido ser considerada por la UNESCO en un programa conocido como EHP (Environmental Hydrological Program) dentro del Programa Hidrológico Internacional (IHP) que permite relacionar la hidrología (que son los procesos físicos del ecosistema acuático) con la ecología o sea lo procesos funcionales (Zalewski et. Al, 1997). El EHP y el IHP tienen en cuenta:

- Integración del agua y la biota a escala de cuenca, reconociendo a esta unidad hidrográfica territorial como el escenario físico donde deben analizarse los procesos hidrológicos, se encuentre este ámbito en estado natural, antropizado o degradado.

- Comprensión de la resistencia y resiliencia de los ecosistemas ante las presiones antrópicas.
- Mejoramiento de la calidad y servicios de los ecosistemas, combinando soluciones estructurales, no estructurales y biotecnologías ecológicas.
- Aprovechamiento de las propiedades ecosistémicas como herramientas de gestión, por medio del uso de la biota para controlar los procesos hidrológicos y viceversa, aplicando la hidrología para regular la biota e inclusive restaurar sus características naturales o al menos recuperaciones parciales.

Una mirada más detallada de un río, o mejor de un tramo de un río es observar la sección vertical y la sección horizontal; en la sección vertical, la velocidad de la corriente (expresada en m^3/s) varían siendo más rápida en tramos menos profundos y más lenta en sectores de mayor profundidad. El perfil longitudinal comienza con un declive más acentuado arriba (como ocurre en nuestro estudio) y en las partes bajas, generalmente más sinuoso (Figura 2-1).

Figura 2-1. Perfil Longitudinal de un río y sus componentes



Fuente. Tomada de Tundidi & Matsumura Tundisi (2008)

El modelo predictivo más favorable para entender un río, en este caso como son Sangoyaco y Taruca es basar su entendimiento en el RCC (Modelo del Continuo del río de Vannote et al 1980;

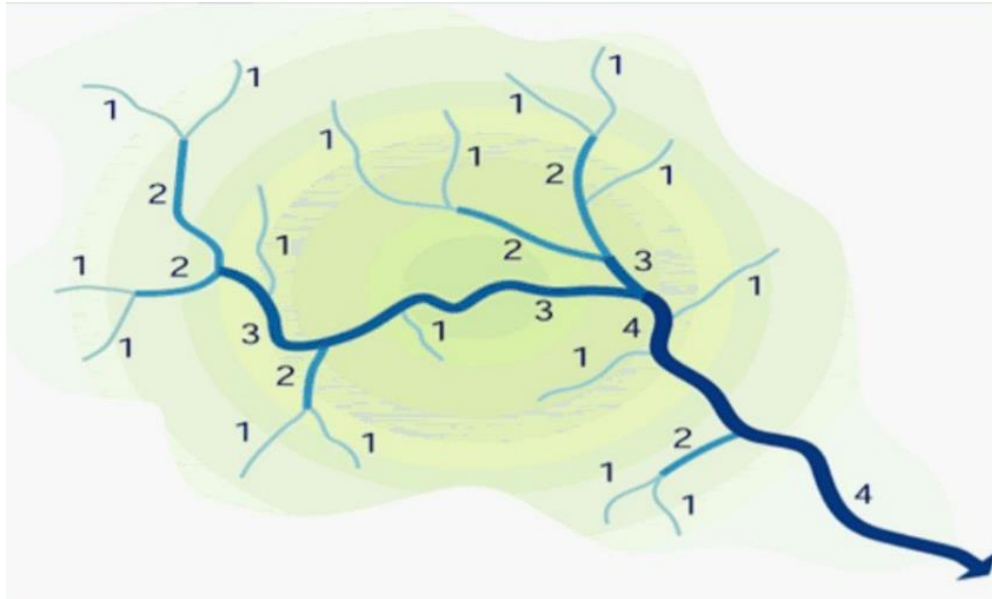
(Figura 4-1). En el caso de Sangoyaco y Taruca son denominados ríos de segundo orden. En cada tramo y orden el caudal o flujo instantáneo de agua en una sección en un tiempo determinado permite conocer el efecto físico del paso de agua en el ecosistema. El caudal tiene un régimen (duración, frecuencia, magnitud, predictibilidad y periodicidad) y cada río o tramo de río posee su propio patrón (Aguilera & Pouilly, 2012).

El caudal de los dos sistemas objeto de estudio, tienen como fuente de cambio en las temporadas de lluvia que lo aumentan y de épocas secas o menores lluvias que lo hacen descender; esta condición se relaciona directamente con la magnitud y la frecuencia que se reflejan con las crecidas ordinarias, crecidas extraordinarias del caudal y caudales reducidos. Cantera, Carvajal & Castro, (2009) exponen que:

La magnitud es la cantidad de caudal que circula por una sección, en un determinado momento, información que permite determinar la disponibilidad de hábitat en el río; frecuencia se refiere a cómo el caudal circulante supera un determinado valor en un intervalo de tiempo dado; es así que la frecuencia del caudal circulante permitirá establecer la diversidad de hábitats.

En el caso de las crecidas ordinarias se presenta transporte de sedimentos y nutrientes, lo cual contribuye al rejuvenecimiento de la comunidad biológica y asegura la persistencia de muchas especies con ciclos vitales rápidos y buena capacidad de colonización. Por su parte, las crecidas conservan la productividad y protegen la diversidad del ecosistema al remover sedimentos del lecho. De igual manera, se originan zonas de reposo y recuperación para los peces, se humedece y rejuvenece el perfil edáfico en las márgenes, facilitando la germinación de ciertas plantas y se presenta mayor resistencia y adaptación de los corredores riparios a las inundaciones. Con lo que respecta a los caudales reducidos, éstos ofrecen un nuevo hábitat para ciertas plantas que permanecen mucho tiempo inundadas y propician la finalización del ciclo vital de otras especies adaptadas a esas condiciones extremas (Diez, 2010). De esta forma, condiciones como la magnitud y la frecuencia del caudal son los encargados de determinar procesos ecológicos fundamentales del río y su ribera asociada.

Figura 4-1. Diagrama esquemático de una red de drenaje, clasificando el orden de los ríos.



Tomado de Strahler & Strahler (1994)

Al acercarse la teoría de ríos con los dos sistemas objeto de estudio, Sangoyaco y Taruca, se puede afirmar que los tramos estudiados pertenecen a la zona que Illies, (1961) llamó Rhithron o zona de alta velocidad de corriente, caudal de pocos metros cúbicos y con substrato en especial de rocas, piedras, cantos rodados y algo de arena.

Cuenca Hidrográfica

Diferentes interpretaciones y significados se dan a este concepto; por tanto, damos una síntesis sobre los diferentes autores (ver Tabla 1-1).

Tabla 1-1 Definiciones del concepto de cuenca

Concepto	Autor(es)
<p>“área o superficie limitada por una línea o divisoria de aguas, dentro de la cual aparecen sistemas naturales, sociales y económicos, muy dinámicos e interrelacionados entre sí”.</p>	<p>López & Hernández, 1972</p>
<p>Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de agua, en un pantano o directamente en el mar.</p>	<p>Decreto Presidencial, República de Colombia, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.</p> <p>Ley 2811 de 1974. Capítulo III, Sección I, Art 312. Definición de cuenca Hidrográfica.</p>
<p>“la cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas”. Interacciones que constituyen elementos esenciales y que evitan la degradación de los bosques que ayudan a mantener los caudales de las hoyas o cuencas.</p>	<p>Botero, 1982</p>
<p>“la cuenca hidrográfica es una unidad natural claramente delimitada por los divisores topográficos, y definida territorialmente por una superficie común de drenaje, donde interactúan los factores físicos, biológicos y humanos, para conformar un megasistema socio–ecológico”.</p>	<p>Negret, 1982</p>

“Una cuenca hidrográfica se puede concebir como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple”.

Monsalve Sáenz, 1995

Unidad espacial global, delimitada superficialmente por un área natural de drenaje cuyas aguas vierten a un colector común, en la cual interactúan orgánicamente elementos físico-bióticos, que el hombre utiliza en los procesos de producción y consumo de medios materiales de vida, como base de recursos, base de soporte y base de desechos, en el marco de las relaciones de producción de un sistema social dado (p.94).

Sánchez, 1995

Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar.

Decreto No.1729 de 2002 del
Ministerio de Medio Ambiente,
Colombia. Capítulo I, Art 1.
Definición de Cuenca

“Unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.

FAO, 2012

“Cuenca” Puede ser una depresión de un terreno ocupado por aguas oceánicas, según la geografía; una depresión en la tierra por procesos de sedimentación, según la geología; un sector rico en yacimientos carboníferos, según la minería o, inclusive, puede referirse a la cavidad donde están los ojos, si se habla desde el conocimiento anatómico. Como la nervadura de una hoja, este tipo de cuenca incluye a toda esa cantidad de caudales pequeños en un territorio que se suman entre ellos para, finalmente, agregarse a un caudal principal y desembocar en una misma salida Es, precisamente, todo ese territorio denominado cuenca hidrográfica, y en él tienen lugar un sin número de dinámicas ecosistémicas, económicas, políticas, sociales y culturales.

WWF, 2018

Calidad del Agua

Se puede definir calidad del agua como un conjunto de características de naturaleza física, química y biológica que asegura determinado uso o conjunto de usos, debiendo estar dentro de ciertos límites o estándares previstos en una legislación vigente o normativa específica (Derisio 2007).

Los procesos de vigilancia de la calidad del agua se realizan a través de herramientas llamadas monitoreos. También existen los indicadores (Tabla 2-1), que se convierten en las respuestas ante la necesidad de información acerca de temas puntuales, clasificados (Quiroga, 2007).

Tabla 2-1. Clasificación de indicadores de calidad de agua

<i>Indicadores Ambientales de primera generación (1980 al presente)</i>	También llamados IA o de sostenibilidad ambiental; dan cuenta del fenómeno complejo desde un sector productivo (minería, agricultura, forestal); bien desde la singularidad o desde un determinado número de fenómenos constitutivos de la complejidad ambiental (conteniendo variables de contaminación y de recursos naturales)
<i>Indicadores de desarrollo sostenible o de segunda generación (1990 - presente)</i>	Hace referencia al desarrollo realizado desde el enfoque multidimensional del desarrollo sostenible. Se trata aquí de avanzar en el diseño e implementación de sistemas (Indicador de Desarrollo Sostenible - IDIS), compuestos por indicadores de tipo ambiental, social, económico e institucional
<i>Indicadores de sostenibilidad o de tercera generación</i>	Trata de dar cuenta del progreso en la sostenibilidad o mejor aún, hacia la sostenibilidad del desarrollo en forma efectiva, utilizando un número limitado de indicadores verdaderamente vinculantes, que tengan incorporados, potenciándose sinérgicamente, dimensiones y sectores desde su origen

Fuente. Quiroga (2007)






Índice de calidad de agua (ICA)

Se considera a un índice que tiene valores desde 0 hasta 100, el cual determina el grado de calidad de un sistema acuático (Brown 1999). Este mismo autor señala que puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, además de comparar con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Hay varios tipos de ICA basados en nueve (9) parámetros; ellos son: **1)** Coliformes Fecales (en NMP/100 ml), **2)** pH (en unidades de pH), **3)** Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

(DBO₅ en mg/l), **4**) Nitratos (NO₃ en mg/l), **5**) Fosfatos (PO₄ en mg/l), **6**) Temperatura (en °C), **7**) Turbidez (en UNT), **8**) Sólidos disueltos totales STD (en mg/l) y **9**) Oxígeno disuelto (OD en % saturación). En la Tabla 3 vemos la clasificación del sistema acuático. Los niveles (por color) son:

- Excelente “azul”; se encuentra en un valor de 91 a 100, posee una alta diversidad de la vida acuática y es conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.
- Buena “verde”; esta con un valor de 71 a 90, conservan una alta diversidad de la vida acuática.
- Regular “amarillo”; con un valor de 51 a 70, tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.
- Mala “naranja”; se encuentra en un valor de 26 a 50, tiene una diversidad de vida acuática baja y está experimentando probablemente problemas con la contaminación.
- Pésima: Esta con un valor de 0 a 25, puede brindar apoyo a un número limitado de vida acuática, presenta problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella.

Tabla 3-1. Clasificación calidad del agua.

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

Fuente. Tomado de Brown (1999)

Para su cálculo, Brown utiliza la suma lineal ponderada, expresada de la siguiente manera:

Ecuación 1-1

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

De esta manera los ICA (Indicadores de Calidad e Agua) e ICO (Indicadores de contaminación) se convierten en una herramienta esencial por ser fundamentales en la preservación de los recursos. Según Samboni, Carvajal & Escobar (2011), este indicador fue desarrollado a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia. Utiliza parte de las 9 variables indicadas arriba como DBO₅, Coliformes Totales y % sat. De OD. Las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución.

En las Tabla 4 se presenta un resumen de los índices ICA e ICO que emplean parámetros físicos, químicos y microbiológicos para su evaluación, teniendo en cuenta el país de origen, el tipo de variable y el método de agregación en el cálculo el índice.

Tabla 4-1 Índices de contaminación del agua.

ICO	Variables incluidas	Tipo de estimación
Países Bajos - Proyecto AMOEBa		
Bacterial (BPI)	Bacterias Termo-tolerantes	Curva – Lectura directa
Por nutrientes (NPI)	pH, amonio, nitrógeno total, NO ₂ -N, NO ₃ -N, fósforo total, ortofofosatos, clorofila, conductividad y turbidez	Curvas – Sumatoria ponderada modificada
Orgánica (OPI)	temperatura, DBO, DQO, OD y NH ₄ -N	Curvas – Ln de la sumatoria ponderada modificada
Industrial (IPI)	Contaminación industrial en agua y sedimentos	
Por pesticidas (PPI)	Contaminante agrícola en agua y sedimentos	
Producción / Respiración (PRI)	Relación producción/ respiración en 24 horas	Curvas – Lectura directa
Bentónico (BSI)	Comunidades bentónicas a nivel de familia	
Diversidad biológica (BDI)	Inventario comunidades biológicas	Tabla – Promedio porcentual
Colombia - Ramírez y Viña (1998)		
Mineralización ICOMI	Conductividad, dureza y alcalinidad	Ecuación - Promedio aritmético
Materia orgánica ICOMO	DBO, OD y coliformes totales	
Sólidos - ICOSUS	SST	Ecuación – Lectura directa
Trofia - ICOTRO	Fósforo total	Ecuaciones
Toxicidad - ICOTOX	Bioensayos (unidades tóxicas)	
ICOTEM	Temperatura (vertimiento y receptor)	Ecuación – Lectura directa
ICO-pH	pH	
Biológico - ICOBIO	Comunidades biológicas	Ecuaciones
Hidrocarburos	Hidrocarburos aromáticos, alifáticos en peces y sedimentos	– Lectura directa

Fuente. Fernández et al (2003)

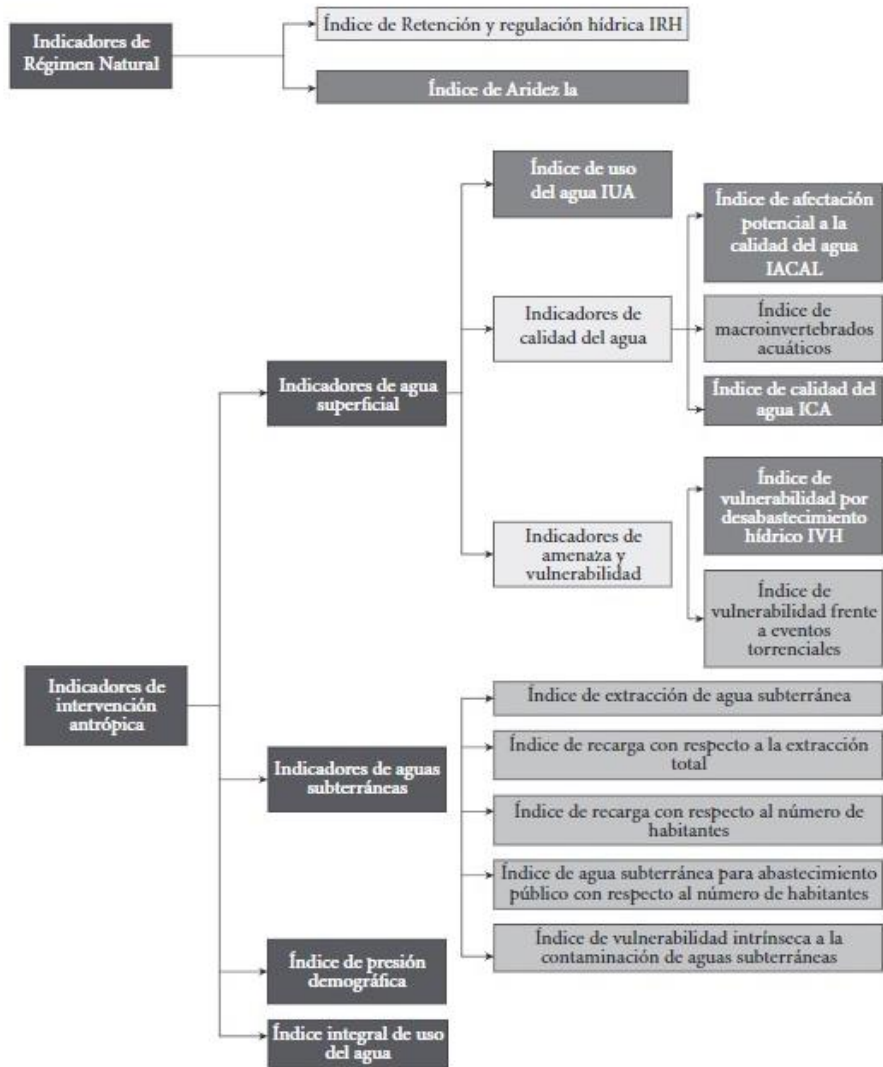
Los ICA e ICO son indicadores compuestos que integran distintos parámetros y permiten la cuantificación del grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifican para un uso determinado. En Colombia el IDEAM (2012; Figura 5) tiene indicadores de calidad de agua de acuerdo al modelo PER (Presión estado - respuesta) y contenidos en un sistema de información Ambiental de Colombia llamado SIAC, dentro del Sistema Integral del Recurso Hídrico (SIRH). Estos dos sistemas permiten evaluar, emitir juicios y normativas acerca de la calidad del recurso hídrico. A continuación, se ilustra el marco conceptual y metodológico para las evaluaciones regionales de la calidad del agua.

Algunos de los índices más utilizados en Colombia están:

ÍNDICE BMWP (Biological Monitoring Working Party) que fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método simple y rápido para evaluar la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados como bioindicadores. El método sólo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae (Plecóptera) y Oligoneuriidae (Efemeróptera) reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Tubificidae (Haplataxida; Díptera) reciben una puntuación de 1.0 (Armitage 1983). La suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

Con base en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia sobre los diferentes grupos de macroinvertebrados hasta el nivel de familia, propone utilizar el método BMWP/Col, como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña (Roldan, 2003), como se muestra en la Tabla 5-1 y 6-1.

Figura 5-1. Clasificación de los Indicadores.



Fuente. IDEAM (2012)

Tabla 5-1 Familias y su valoración BMWP/ Col

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

Tabla 6-1. Clasificación de las aguas, significado de acuerdo al índice BMWP/Col

Clase	Calidad	Valor	Significado	Color
I	Buena	>150-101	Agua muy limpias y limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Son evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Los índices de contaminación (ICOS) e los índices biológicos (BMWP/col) en Colombia son manejados para la gestión integral del recurso hídrico, como una herramienta de articulación entre los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo de la oferta hídrica del país (Ramírez, Restrepo & Viña, 1997). La bondad del BMWP/Col permite relacionar y trabajar con otros índices, como los índices de calidad de agua (ICA) propuestos por la National Sanitation Foundation que fueron concebidos para las características de los ríos norteamericanos (Behar, Zúñiga & Rojas, 1997). Este índice emplea un conjunto de nueve variables individuales (oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos, fósforo total, temperatura del agua, turbiedad y sólidos totales) y dos variables agrupadas

(sustancias tóxicas y pesticidas) las cuales fueron escogidas por una encuesta entre 142 expertos, además que se le dio un peso a cada una dentro de la puntuación total del índice.

Con los ICO (índices de contaminación) que son ampliamente utilizados a nivel nacional y regional en Colombia; Ramírez et al (1997) desarrollaron nueve índices de contaminación, los cuales varían por el tipo de contaminante a estudiar; se dividen por ejemplo en materia orgánica (ICOMO), mineralización (ICOMI), sólidos (ICOSUS), contaminación trófica (ICOTRO), potencial de hidrógeno (ICOpH), hidrocarburos (ICOHC), temperatura (ICOTemp), toxicidad (ICOTOX) y biológico (ICOBIO).

Los diferentes índices de contaminación abarcan una problemática específica para cada caso de estudio. Hay otros índices más el Índice Biológico Andino (ABI) que permite clasificar la calidad ecológica de un sistema, apoyado en el índice original BMWP y se aplica a ríos altoandinos superiores a los 2000 msnm (Acosta, Rios, Rivadeneira & Narcis, 2009); este no sería el caso para nuestro estudio.

Mapas Parlantes

Los mapas parlantes se describen como una metodología participativa para la formulación de estrategias de desarrollo municipal, como un instrumento para el desarrollo de proyectos que incluyan poblaciones pequeñas (menos de 30000 habitantes) Obando et al (2001). Esta metodología permite la participación comunitaria a través de técnicas que estimulan y apoyan a las comunidades permitiéndoles explorar, analizar y evaluar en tiempos definidos sus necesidades más sentidas, limitaciones y potencialidades.

Esta investigación trabaja aspectos sociales y para ello ha tenido en cuenta a los mapas parlantes; como se mencionó son instrumentos técnicos metodológicos que permiten la organización, comunicación y hasta decisiones de las personas que habitan en el sitio, a través de la diagramación de escenarios (pasado, presente y futuro) en mapas territoriales; esta herramienta se denomina así porque tiene la posibilidad de plasmar a través de gráficos lo que la comunidad visualiza frente a una problemática “hablan por sí solos” (Flórez et al 2013).

El objetivo metodológico de los mapas parlantes es recoger de manera gráfica la percepción de las personas participantes sobre el territorio local y fortalecer su identidad. Este mapa deberá

reflejar los aspectos más importantes del territorio local, por ejemplo, áreas forestales, pastizales, áreas de cultivo, espacios urbanos, fuentes de agua, posibles espacios turísticos, vías de comunicación, sitios de interés y de referencia de la población, etc.

Esta herramienta es muy útil para la sistematización espacial de diversos temas productivos, ambientales, sociales, infraestructurales que permitan conocer las percepciones de las comunidades, así mismo tener un antecedente de su historia ambiental que permita acercarse a las zonificaciones de una manera más detallada y puntual.

1.2 Marco Legal

La presente investigación se enmarcó en las leyes, normas y políticas que legislan y actúan sobre los ecosistemas acuáticos; una síntesis de estos aspectos es comentados en la Tabla 7-1

Tabla 7-1. Relación normativa sobre los ecosistemas acuáticos de Colombia

Normatividad	Disposiciones
Decreto Presidencial de Colombia. Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección al Medio Ambiente ley 2811 de 1974: Capítulo único, Parte I y Título III	<p>Art. 3: el código regula la incidencia del hombre en el deterioro ambiental.</p> <p>Art. 8: consideran factores que deterioran el ambiente.</p> <p>Art. 9: Uso de los recursos naturales: en forma eficiente</p> <p>Art. 34, 35, 36, 37, 38: de los residuos, basuras, desechos y desperdicios.</p>
Decreto 1594 de 1984, emitido por el Ministerio de Agricultura. Reglamenta parcialmente los usos del agua y residuos líquidos.	Art. 9, 11, 12, 29, 33, 41, 51-59 concesiones, 60-97 de los vertimientos, 98, 99, 121 - 129 de los permisos de vertimiento y las autorizaciones sanitarias para usuarios nuevos, 142 - 149 de tasas retributivas, 197-255 sanciones.

	<p>Derogado por el Art. 79, Decreto Nacional 3930 de 2010. Salvo los artículos 20 y 21.</p> <p>Art 20. Sustancias de interés sanitario.</p> <p>Art 21. Usuarios de interés sanitario</p>
<p>Constitución Política de Colombia 1991</p>	<p>Art.8: Protección de las riquezas culturales y naturales de la Nación.</p> <p>Art 79: Derecho a un ambiente sano. Protección de la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p>Art 80: Planificación y aprovechamiento de los recursos naturales.</p>
<p>Ley 99 de 1993; Decretada por el Congreso de Colombia. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.</p>	<p>Se reordena el Sector de gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones; se establece el régimen de tasas retributivas. Elabora el marco normativo sancionatorio con arreglo al procedimiento establecido en el decreto 1594 de 1984.</p>
<p>Decreto 3100 de 2003, emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</p>	<p>Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones</p>

Resolución 1433 de 2004, emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Por medio del cual se reglamenta el artículo 12 del decreto 3100 de 2003, sobre planes de saneamiento y manejo de vertimientos y PSMV.
Acto legislativo presidencial 02 de 2009. Artículo 1º.	Por el cual se reforma el artículo 49 de la Constitución Política: Art.1: La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado.
Decreto 3930 de 2010, emitido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del título VI – parte III – Libro II del Decreto. Ley 2811 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	<p>Art 79. Vigencia y derogatorias. Se deroga el decreto 1594 de 1984, salvo los artículos 20 y 21.</p> <p>Capítulo VI. Vertimientos</p> <p>Capitulo VII. Permisos de vertimiento y planes de cumplimiento.</p> <p>Capitulo IX. Reglamentación de vertimientos.</p> <p>Capitulo X. Registro de los permisos de vertimiento</p>
Decreto presidencial de Colombia número 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Artículos 2.2.9.7.1.1 al 2.2.9.7.6.2	<p>Por el cual se establece las disposiciones relacionadas en cuanto a los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico o al alcantarillado</p> <p>Capítulo 7, Por medio del cual se reglamenta la tasa retributiva.</p>
Decreto 050 de 2018, emitido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 1076 del 2015, en relación con los Consejos Ambientales Regionales de Macrocuenas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y vertimientos.

Resolución 1514 de 2012, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.	Por medio del cual se establecen los términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión del riesgo y Manejo de Vertimientos, los cuales deben ir incluidos en la solicitud de un permiso de vertimientos.
Resolución 0631 de 2015, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	Por medio de la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial y a los sistemas de alcantarillado público.

1.3 Antecedentes

Para ampliar el conocimiento de la presente investigación fue necesario citar trabajos que hacen referencia a temas de abordaje como los macroinvertebrados, las técnicas de obtención de información en campo e de los indicadores de calidad de agua, de los cuales se enuncian los siguientes:

Roldán (1996) en su investigación afirma que la comunidad de macroinvertebrados acuáticos mejor estudiada en Colombia es la entomofauna. De allí que se ha generado un mayor conocimiento sobre los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Tricoptera, de quien se tiene mayor información en cuanto a su taxonomía, ecología y su utilización como bioindicadores de la calidad del agua. Se menciona como el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) desarrollado en Europa, pero con una amplia utilización en estudios en Colombia, siendo este una buena herramienta de investigación, pero la cual debe incluir adaptaciones para las diferentes regiones en el continente.

A continuación, se enfocan los antecedentes específicos a las áreas andinas y del piedemonte amazónico en los dos aspectos más importantes como son calidad de las aguas y bioindicadores con el uso de los macroinvertebrados.

Indicadores Ambientales con macroinvertebrados

El estudio base de este aparte del documento es un trabajo síntesis de Serrato-Hurtado & Duque (2008) que recopilan estudios en el piedemonte amazónico colombiano (departamentos de Caquetá, Putumayo y la bota caucana). En el documento de los autores están cerca de 8 trabajos que utilizan estos organismos para definir la calidad de las aguas. Sin embargo, Serrato-Hurtado & Duque (2008) se concentran en evaluar la calidad del agua a través de dos indicadores BMWP y EPT, comparados a través de un análisis multivariado, que al estudiar las colectas realizadas en 75 ríos y 16 lagunas ubicadas en los departamentos de Caquetá, Putumayo y Amazonas concluyen que estos dos indicadores de calidad son buenos descriptores de la calidad ambiental para ríos y arroyos; sin embargo en los ecosistemas lénticos, no se refleja bien el estado de los aguas, ya que sus características hidráulicas (aguas quietas) no son propicias para el desarrollo de Efemerópteros, Plecópteros y Tricópteros que son organismos determinantes para el cálculo del EPT y que también su presencia aporta a altos puntajes del BMWP.

En el estudio de López & Peláez, (2012) analizan la calidad de las aguas del río Hacha (Florencia) utilizando el BMWP modificado por Zamora, el índice Biótico de Familias (IBF) y el índice EPT. Ellos demuestran que el BMWP es el índice biótico que mejor representó las condiciones ambientales del río Hacha. En otro momento para el mismo Hacha tenemos a Gutiérrez, Peláez, Ovalle, (2016), que al analizar el contenido estomacal de los peces encuentran presencia de macroinvertebrados en 5 fila, 6 clases, 15 órdenes, 41 familias, 63 géneros y 971 organismos, los que les hace suponer buenas condiciones de hábitat, con una alta oferta de material alóctono (vegetación ribereña) como fuente de alimento y dominio de sustratos rocosos, que permiten un mayor establecimiento de taxones. A nivel de órdenes, Tricóptera presentó la mayor dominancia de géneros en las seis estaciones de estudio, seguido de Díptera y Coleóptera. Con base en las descripciones del material encontrado en el área de estudio, se logró demostrar que presenta buenas condiciones de hábitat, con una alta oferta de material alóctono (vegetación ribereña) como fuente de alimento y dominio de sustratos rocosos, que permiten un mayor establecimiento de taxones; además de que existe una mayor riqueza de grupos funcionales entre ellos colectores, raspadores, trituradores y depredadores.

Continuando con el departamento del Caquetá, Mosquera (2016) demostró mediante herramientas estadísticas de análisis multivariado, que la densidad y la riqueza de las poblaciones de macroinvertebrados están influenciadas por las variaciones de descarga hidráulica generadas por los procesos asociados a las actividades agropecuarias en este caso

el monocultivo de papa y la ganadería extensiva, a través de la evaluación de la comunidad de macro invertebrados bentónicos y parámetros físico y químicos, asociados a tres sectores de la cuenca alta del río Caquetá que presentan diferentes grados de perturbación antrópica. Uno de los ambientes loticos más alterados de Florencia es la Quebrada la Yuca que atraviesa la ciudad de Florencia. Mientras que el estudio de Cortés, Hernández y Pelaez, (2018) demuestran que la calidad de agua en la quebrada La Yuca, es aceptable; esto soportado en estudios realizados con macroinvertebrados acuáticos y utilizando las variables fisicoquímicas, el caudal y los índices biológicos BMWP y EPT.

En el área rural, el impacto de los cambios de paisajes y coberturas boscosas a praderas de ganadería son abordados por Durán, Rodríguez & Suarez, (2018) en un estudio que indican de la relación existente entre abundancia y diversidad de macroinvertebrados con el contenido de nutrientes del suelo. Para poder desarrollar el estudio se realizó una relación de arreglos agroforestales, estudiando parcelas al azar en la Amazonia-Andina colombiana (Caquetá). Lo que permitió cuantificar la macrofauna y con caracterizaciones fisicoquímicas de suelo se logró conocer la relación entre propiedades edáficas y la macrofauna. Efectivamente el estudio demostró cuales componentes del suelo generan relaciones positivas y cuales no con respecto a la macrofauna.

En el trabajo de Zúñiga (2015), que es un análisis nacional, toma en cuenta material biológico de las partes montañosas de Nariño (cerca del Putumayo) en el grupo de los insectos tipo Plecóptera. Se destaca la familia Gripopterygidae que se conoce únicamente en dos localidades de los Departamentos del Tolima y Nariño, en zonas de alta montaña (3 050 - 3 500 m; cerca del Putumayo) y *Claudioperla* que documenta para este género, la posición más al norte de Sur América para esta familia.

Por último, Duque, Torres, Arteaga, Fajardo, Coral & Vallejo, (2012) que monitorean 19 microcuencas del Putumayo, por medio de dos índices EPT y BMWP; se les permitió determinar en forma preliminar la calidad del agua. Una vez obtenidos los resultados se compararon con normas nacionales como el decreto 1594 de 1984, concluyendo que la mayoría de las cuencas estudiadas presentaban a la fecha del estudio aguas limpias, no contaminadas; esto se logró soportar por la presencia de organismos poco tolerantes a la contaminación con son Decapoda, Megalóptera, Efemeróptera, Plecoptera, Tricóptera, Simuliidae, algunos Hemíptera, Coleóptera,

y Odonata. Sin embargo, se encontraron aguas contaminadas como la Quebrada Negra y el río Cohembí y muy contaminadas como Caño el Bufe. Manifiestan los autores que esto se debe probablemente a las características físicas particulares que presentan los ambientes como variada disponibilidad de hábitats o coriotopos (áreas de colonización como hojarasca, piedra, grava, arena, palizada, etc.) y la distribución de los grupos de organismos en los ecosistemas.

Indicadores de calidad de agua

Ya hablando para Colombia, Roldan & Pérez (2009) hacen un recorrido del desarrollo histórico de la limnología en Colombia a partir de la década de los años setenta. Se analizan las características biológicas, físicas y químicas de los diferentes ecosistemas acuáticos y se valora qué tanta información se tiene de cada uno de ellos. Se llega a la conclusión, que sin duda en los últimos cuatro décadas se ha hecho un gran esfuerzo para conocer las características físicas y químicas de nuestros ecosistemas acuáticos y de su flora y fauna asociados a ellos, se reconoce la importancia de los macroinvertebrados en todo este proceso investigativo, es así como en cada una de las publicaciones del desarrollo de la limnología se da un espacio importante para reconocer los avances en esta materia. Sin embargo, aún falta mucho trabajo por realizar en todos campos de la limnología.

Manrique & Peláez, (2010) evaluaron la calidad del agua de la quebrada La Perdiz (Florencia), a través de la medición de características físicas, químicas y microbiológicas integradas en índices de calidad y de contaminación. Los resultados indicaron que una de las estaciones estudiadas presentó perturbación evidenciada principalmente en el contenido de coliformes, convirtiéndose en un sitio no apto para uso recreativo (contacto primario y secundario). Mientras que otras dos estaciones presentaron un índice de calidad de agua bajo, catalogando el agua como no apta para uso agrícola, recreativo y consumo. Y únicamente una de la estación, presentó ambiente polisaprobio con señales de eutrofización y poco oxígeno disuelto, lo que sugiere que este recurso hídrico presenta baja capacidad de autorecuperación.

Ricaurte, Nuñez, Pinilla, Marín, Velásquez, Alonso, Mojica, Betancourt, Salazar, Caicedo, Acosta Castro, Argüelles, (2015) presentan un trabajo piloto realizado en la Amazonia colombiana con humedales del departamento del Caquetá. En este sentido, con el estudio se generó una línea base inicial sobre la distribución de los humedales en la cuenca del Río Ortegüaza, en donde se detalló el número de humedales (896), su área (26,485 ha) y tipología (siete clases). Gran parte de las diferencias se debieron a los cambios ocurridos en la cobertura vegetal, principalmente

debido a los procesos de deforestación o regeneración natural. Los pantanos y bosques riparios resultaron ser los humedales más afectados, mientras que los otros tipos de humedales conservaron las características asignadas en la clasificación original.

El documento de Investigación realizado por Segura (2007a) con una evaluación de la contaminación hídrica en Colombia, indica los principales medios de contaminación: materia orgánica, plaguicidas y fertilizantes, hidrocarburos y sustancias químicas, las cuales son aportadas en forma diferencial para cada cuenca hídrica. El mismo autor, Segura (2007b) analiza el efecto de fertilizantes y plaguicidas en la cuenca alta del Putumayo cerca del municipio de Sibundoy; el comenta que aguas abajo, el mismo río Putumayo se ha visto afectado por el aporte de hidrocarburos y sustancias químicas por parte del oleoducto en el Municipio de Orito Putumayo.

En ríos de Mocoa, López & Yissenia (2018) aportan desde su investigación en el río Mulato que con el uso de los indicadores de calidad ICA y de contaminación ICOMO, ICOMI, e ICOSUS y el índice de escasez (Res 865 del 2004 de MAVDT), la microcuenca del Mulato tiene un índice de escasez de demanda muy baja, lo que significa que la actualmente no hay gran presión sobre el recurso hídrico, ya que la actividad agrícola y pecuaria se desarrolla como sustento para cada familia.

Algo parecido se realizó en el río Rumiayaco, que una fuente abastecedora de un acueducto comunitario; Chicunque (2018) al determinar el índice de calidad del agua nota que este sistema se está viendo afectado porque se ubica aguas abajo del río Chontayaco (que está contaminado por aguas residuales).

Los problemas en especial de contaminación orgánica debido a la presencia de asentamientos humanos, en especial el ciudades y municipios, según la normatividad vigente, se supone se puede resolver en buena medida con el montaje de las plantas de tratamientos de aguas residuales PTAR: Sin embargo, para un municipio cualquiera la PTAR si la hay se ubica en el punto final de recepción de las aguas residuales de la ciudad. *¿Pero qué pasa con otras fuentes hídricas que aportan al servicio de agua de la ciudad y que en sus partes altas ya pueden estar alteradas?* Este sería el caso de nuestro estudio.

Las estadísticas sobre las PTAR son de que, en agosto de 2002, el país solo contaba con 237 PTAR construidas en 235 municipios, que tratan cerca del 8% de los vertimientos producidos por estos. Al finalizar el 2005 el número de PTAR aumento a 401 en 345 municipios, alcanzando una cobertura de 31% de los municipios, incluyendo 10 sistemas en construcción. En la actualidad hay 753 municipios sin PTAR lo que equivale al 69% de las poblaciones del país (MAVDT, 2004).

Los antecedentes demuestran que no existen estudios que hablen de los sistemas lóticos de Sangoyaco y Taruca y menos de un análisis del tramo de unión entre ellos.

2. Capítulo 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Descripción del Problema

El Municipio de Mocoa cuenta con cinco cuencas importantes (ríos Mocoa, Caquetá, Putumayo, Cascabel y Mecaya) de donde se desprenden microcuencas como Sangoyaco y Taruca, pertenecientes a la extensa región amazónica, reconocida por su importancia hídrica a nivel mundial. En los últimos años estas dos microcuencas han perdido la capacidad de purificación o autodepuración, ya que el equilibrio se ha roto a causa de la conexión directa y constante de vertimientos de aguas residuales, además del depósito diario de gran cantidad de residuos sólidos, lo que está generando unas graves implicaciones ecológicas fluviales por las variaciones en las características físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas de los dos sistemas fluviales. (SINCHI, 2012)

La principal fuente de contaminación de las microcuencas Sangoyaco y Taruca son los aproximadamente 110 vertimientos directos de aguas servidas (inventariados en el presente trabajo) que tienen las viviendas aledañas, y por tanto el favorecimiento de la presencia de microorganismos patógenos, sólidos provenientes de excremento y residuos de la cocina y del aseo, tales como aceite, grasas, restos de comida, detergente, entre otros. Sumado a esto, las descargas de excremento porcino de otras actividades humanas aguas arriba de los puntos de muestreo, lo cual contribuye a la disminución de la capacidad de autodepuración de las fuentes hídricas y el aumento del deterioro de ellas. Este fenómeno está ocurriendo a pesar de que el Plan Básico de Ordenamiento Territorial -POBT (Alcaldía Municipio Mocoa, 2016) documento que afirma que Mocoa es la única ciudad del departamento Putumayo que posee un 90% de cobertura de alcantarillado en el área urbana.

Las mencionadas microcuencas se convirtieron en el basurero de muchos habitantes de Mocoa, puesto que allí van a parar todos los residuos sólidos que para muchos han perdido su vida útil, afectándolas indirectamente; y esto generado una falta de conciencia sobre los recursos hídricos por parte de los habitantes. Adicionado a esto, es evidente la falta de control y vigilancia que tienen las autoridades competentes en la protección de los recursos naturales.

Por todas estas razones, la capacidad de resiliencia de las microcuencas de los ríos Sangoyaco y Taruca ha disminuido afectando directamente a los ecosistemas fluviales, ya que el cambio de las características físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas genera la alteración y destrucción del hábitat acuático. Además de esto puede suscitar dolencias y enfermedades a la salud humana, así elevando el riesgo de afectación de los habitantes aledaños a estas microcuencas y a la comunidad en general.

2.2 Pregunta de investigación

Teniendo en cuenta todos los capítulos y párrafos anteriores se define la siguiente pregunta de investigación que orienta la investigación.

¿Qué implicaciones ecológicas han generado las variaciones de las características físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas ocasionadas por las descargas de aguas residuales sobre los ríos Sangoyaco y Taruca?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Determinar las variaciones en las características físicas, químicas, microbiológicas e hidrobiológicas en dos períodos de tiempo (lluvias y sequía), en los tramos de los ríos Sangoyaco, Taruca y en su confluencia. Y su recuperación histórica ambiental causada por los cambios antrópicos.

2.3.2 Objetivos Específicos

Realizar el análisis físico, químico, microbiológico e hidrobiológico de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca y su sector de confluencia, en dos períodos de tiempo (lluvia y sequía) para definir sus condiciones actuales.

Recuperar la historia ambiental y humana sobre los cambios sufridos en los ríos Sangoyaco y Taruca que ocasionaron variaciones en sus condiciones ecológicas.

2.4 Justificación

A continuación, la Tabla 8-2 muestra detalles del sitio de trabajo y en la Figura 6-2 el mapa correspondiente.

El municipio de Mocoa presenta un grave deterioro de las microcuencas de los ríos Sangoyaco y Taruca. Los análisis preliminares al momento de indicar este estudio mostraron cerca de 110 conexiones directas de vertimientos de agua residuales que están generando desde las viviendas aledañas, más descargas de excremento porcino que le llegan a las aguas de estos dos sistemas. Por tanto, hay un claro incumplimiento al Decreto ley 2811 de 1974 expedido por presidente de la Republica de Colombia, que en el artículo 9 sostiene que “los recursos naturales y demás elementos ambientales deben ser utilizados en forma eficiente”, para lograr su máximo aprovechamiento con arreglo al interés general de la comunidad y de acuerdo con los principios y objetos que orienta este código.

Por estas razones es necesario realizar una caracterización física, química, microbiológica e hidrobiológica de las aguas de los dos ríos y su área de confluencia en diferentes condiciones meteorológicas, que permitan conocer el grado de impacto sobre sus recursos y las problemáticas por la modificación de sus ecosistemas a causa del mal uso que se les ha hecho a estas fuentes hídricas. Y sumar de manera muy provechosa el conocimiento social que los pobladores tiene e interpretan estos problemas.

Es importante resaltar que, si se cuenta con microcuencas en buen estado y que tengan la capacidad de resiliencia, genera un gran aporte fundamental para todos los seres vivos, ya que las fuentes hídricas se consideran fuente de vida y estas a su vez mejoran la calidad de vida de los seres humanos.

Además, teniendo en cuenta que los pocos trabajos sobre comunidades de invertebrados acuáticos corresponden a lo que se denomina literatura gris. Se pretende que el resultado de la presente investigación, en la cual se utilizó laboratorios y metodologías certificadas, ajustado a las normas de control bibliográfico, sea un documento seguro y confiable en el cual las entidades competentes puedan observar el grave estado en el que se encuentran las microcuencas objeto de este estudio.

2.5 Área de estudio

A continuación, se muestran detalles del sitio de trabajo del sitio de trabajo (Tabla 8-2) y en la Figura 6-2 el mapa correspondiente.

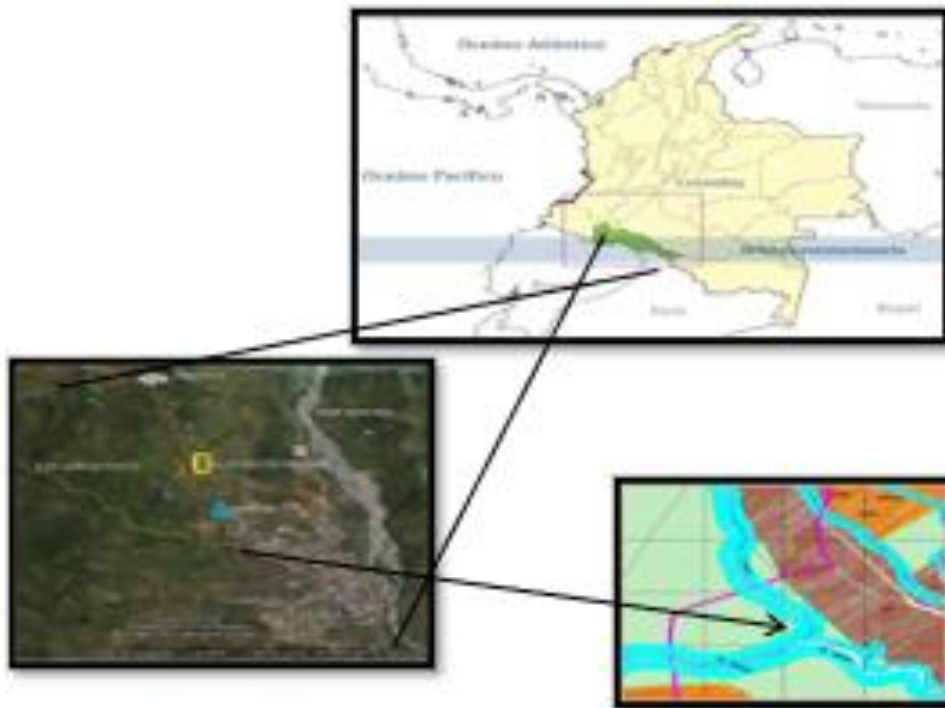
Tabla 8-2. Características de ubicación del área de estudio.

Departamento del PUTUMAYO	
<i>Área</i>	24.885 km ²
Municipio de Mocoa	Capital
<i>Área</i>	1.266 km ²
<i>Altura</i>	350 msnm a 2500 msnm
<i>Limites</i>	Norte y Oriente con la cuenca del Río Mocoa Sur y Occidente con la microcuenca del Río Mulato
<i>Promedio de lluvia anual</i>	3832 mm
<i>Temperatura promedio</i>	22.9 °C
<i>Temperatura máxima</i>	26 a 28°C
<i>Temperatura mínima</i>	19 a 20 °C
<i>Húmedad relativa promedio</i>	82 a 88%
Río Sangoyaco	
<i>Nacimiento</i>	Laguna Sangoyaco
<i>Altitud</i>	1.100 msnm
<i>Longitud</i>	5.9 Km
<i>Coordenadas de nacimiento</i>	1.040.770 m E 621.260 m N
<i>Desembocadura</i>	Río Mocoa
Río Taruca	
<i>Ubicación</i>	noroccidental del municipio de Mocoa
<i>Área</i>	5,565 Km ²

<i>Longitud</i>	13.25 Km
<i>Coordenadas de nacimiento</i>	1.041.100 m E 22.400 m N
<i>Coordenadas de desembocadura</i>	1.046.850 m E 19.250 m N
<i>Desembocadura</i>	Río Sangoyaco
<i>Altitud</i>	550 msnm - 850 msnm
<i>Zona de vida</i>	Bosque muy húmedo tropical

Fuente. Jojoa (2003)

Figura 6-2 Localización del área de estudio



Fuente Google maps, 2017

3. Capítulo 3 METODOLOGÍA

Este capítulo se desarrolla en dos partes, primero los asuntos limnológicos (calidad de las aguas y los macroinvertebrados) y segundo los temas sociales; estos últimos con su participación, permite consolidar procesos de representación, planeación y manejo territorial a diferentes escalas sociales, políticas, económicas y ambientales.

3.1 Componente Limnológico

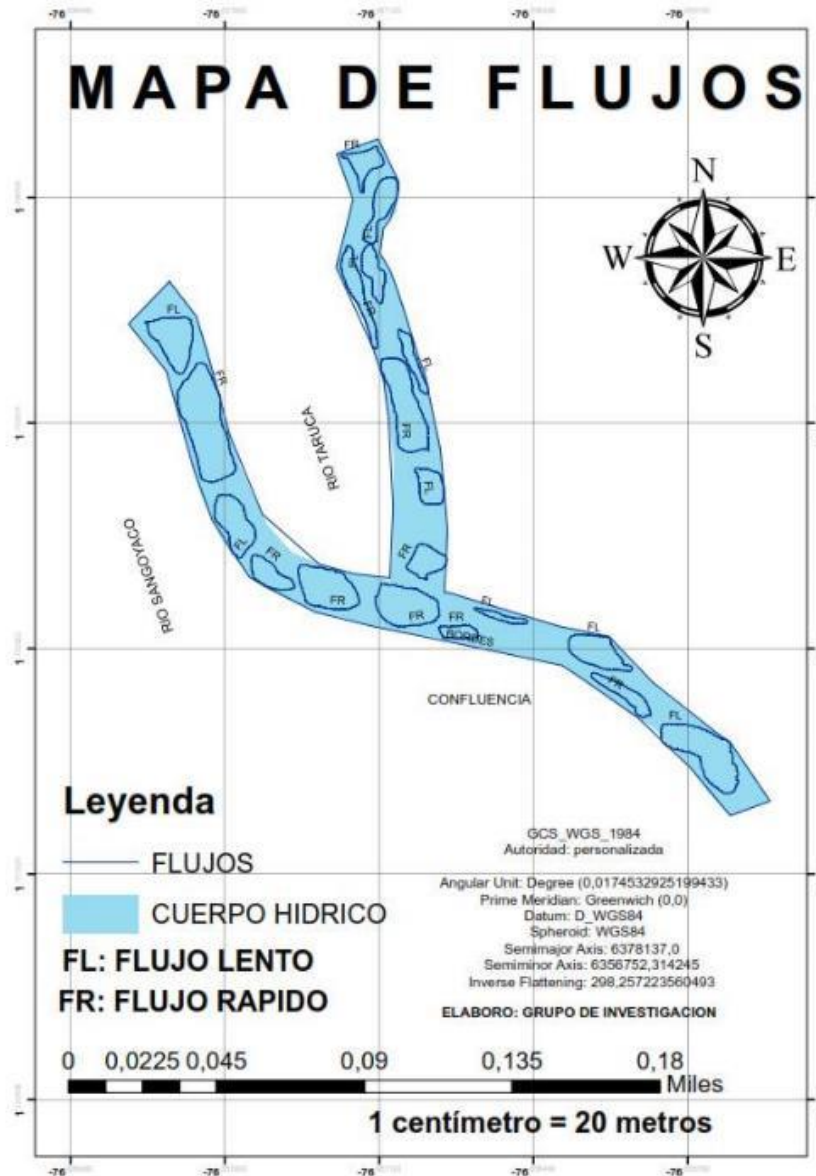
Se estudian las condiciones físicas y químicas de las aguas de los dos sistemas (Sangoyaco y Taruca) en dos momentos del ciclo hidrológico, aguas bajas o temporada seca (enero a marzo 2016) y en el momento de aguas altas o época de más lluvias (octubre a diciembre 2015). Tres estaciones de trabajo (Figura 7-3) que son aguas en un tramo del Sangoyaco y Taruca arriba de la confluencia de ambos y un tramo abajo de la unión de los dos ríos.

Figura 7-3. Ubicación de los puntos de muestreo Limnológico sobre los ríos Sangoyaco y Taruca



Para el esfuerzo muestreo físico y químico y de macroinvertebrados, las estaciones se denominaron: Primera estación (**M1**) ubicado 100 m aguas arriba sobre el río Taruca. Segunda estación (**M2**) ubicado 100 m aguas arriba sobre el río Sangoyaco y una tercera estación (**M3**) ubicada 100 m aguas abajo, en la confluencia de los dos sistemas.

Figura 8-3. Detalle de los hábitats o rápidos y lentos en la zona de estudio



En cada estación se definieron dos tipos de hábitats diferentes (Figura 8-3): los **rápidos** (corrientes fluviales que se mueven con mayores velocidades, por diferentes agentes; geografía,

esorrentía, tributarios, vientos, etc.) y los **lentos** (corrientes cuyas velocidades son mínimas, sus características las definen varios agentes). Para el muestreo se tuvo en cuenta recomendaciones del IDEAM, (2017).

En cada estación y hábitat se realizó la toma de la muestra y se diligenció una ficha de información de campo (Figura 9-3); En cada uno de ellos se recolectaron 4 recipientes que posteriormente fueron almacenados en una nevera de icopor con refrigeración para conservación. El tipo de muestreo fue integrado; este hace referencia a aquella que se forma por la mezcla de muestras puntuales tomadas de diferentes puntos simultáneamente, o lo más cerca posible. Cada recipiente fue primero purgado con agua del sitio; esto con la finalidad de no contaminar la muestra. De cada una de la muestra integrada se tomaron dos porciones en botellas diferentes, de las cuales una será la muestra y otra será la réplica, con el fin de garantizar la repetibilidad y representatividad del muestreo.

En los tramos seleccionados se midieron las siguientes variables *in situ*: temperatura (tomado en un Multiparámetros AQUAPROBE, AP-700), pH (tomado en un Multiparámetros AQUAPROBE, AP-700) y conductividad (tomado en un Multiparámetros AQUAPROBE, AP-700). Los datos obtenidos son puestos en la ficha de reporte del frasco y en una libreta de campo.

Para garantizar todo el proceso se implementó una cadena de custodia que además de contener la información del marcaje de datos de campo, contiene datos que indican las condiciones meteorológicas del momento del muestreo. En cada referencia de cada punto se tuvo en cuenta: Nombre y ubicación del punto de muestreo, fecha y hora recolección, tipo de muestreo, información descriptiva pertinente, características organolépticas (color, sabor, claridad y olor) y nombre de la persona que recogió la muestra.

En la figura 9-3 se muestra un ejemplo de un informe que puede usarse en situaciones en que se haya recogido toda la información sobre el muestreo de aguas superficiales.

Figura 9-3. Ficha de información de campo

Informe. Muestreo de aguas superficiales		
Objetivo: _____	Profundidad: _____	
Ubicación: _____	Formación: _____	
Fecha del muestreo: _____		
Día	Mes	Año
Medida del nivel de agua: _____	Volumen: _____	
Hora: Comienzo: _____ Fin: _____ del muestreo		
Método de muestreo: _____		
Estado de bombeo/profundidad de la estación de bombeo: _____		
Profundidad del muestreo: _____		
Apariencia de la muestra: _____		
Detalle de las técnicas de preservación empleadas: _____		
Detalle del método de almacenamiento empleado/requerido: _____		
Nombre/ iniciales de la persona que recogió la muestra: _____		
Otras observaciones: _____		

MEDICIONES EN EL CAMPO		
TEMPERATURA	pH	CONDUCTIVIDAD
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Las muestras tomadas en campo fueron llevadas al laboratorio de referencia de Corpoamazonia en Mocoa, para la obtención de los reportes de calidad de agua; los parámetros analizados y sus técnicas se detallan en la Tabla 9-3.

Fase de Análisis de información fisicoquímica de las aguas

A los datos físicos y químicos se les realizó un análisis de estadística descriptiva, figuras tipo cajas y bigotes y un Análisis de correlación se elaboraron con el programa Statistica 9.0

El índice de calidad de agua (ICA) se aplicó a diez parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Coliformes Fecales, pH, DBO₅, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos Totales y Oxígeno disuelto) que se obtuvieron de las tres estaciones de estudio M1, M2 y M3.

Tabla 9-3. Parámetros analizados y técnicas de laboratorio

Características Agua	Variable	Técnica Analítica
Física	Temperatura	Multiparámetro
	Sólidos totales	Gravimétrico
Química	pH	Multiparámetro
	Nitratos	Colorimétrico
	Fosfatos	Turbidimétrico
	Nitritos	Colorimétrico
	DBO ₅	5 días Bod test
	DQO	Closed reflux
	Oxígeno disuelto	Multiparámetro
	Conductividad	Multiparámetro
Microbiológica	Coliformes fecales y coliformes totales.	Filtración por membrana

3.2 Componente Biótico

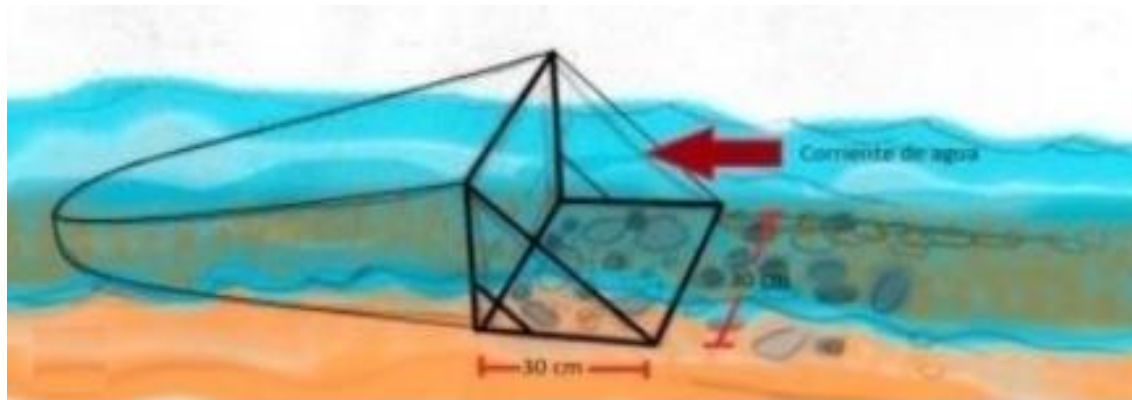
Los macroinvertebrados acuáticos presentes en los dos sistemas y tres puntos de muestreo fueron estudiados con el propósito de conocer la calidad de las aguas.

Se dispuso de tres estaciones para los esfuerzos de muestreo (M1, M2 y M3) en una longitud de 80 mts; allí se tomaron dos muestras en cada uno de los sustratos presentes (rocas, palos arena), para un total de seis (6) muestras biológicas. Debido al clima bimodal del municipio de Mocoa fue necesario tomar las muestras en dos épocas: en sequía comprendida en los meses de octubre a diciembre del año 2015 y otra en lluvias que comprende los meses de enero a marzo del año 2016. De esta manera se tomaron en total 12 muestras.

En cada punto una muestra corresponde a un hábitat o biotopo de aguas lentas o remansos y la otra a una zona del río con aguas rápidas. Para la captura de esta muestra biológica de los macroinvertebrados se utilizó como herramienta la red Surber de tamaño pequeño (30 x 30 cm) con malla de Nytex de 500 micras, con la cual se pretendió cubrir el ancho total de la sección del sistema, es decir se ubica en cada ribera y en dos partes centrales (Figura 10-3). La red Surber

puesta en contracorriente recoge así el material biológico de los sustratos presentes en el cuadro de la red como rocas y otros que manualmente se levantan y limpian, tanto con la mano como con un cepillo suave. En el caso de un sustrato tipo arenoso con una pala se remueven los primeros cms para dejar salir y capturar en la red los organismos allí presentes.

Figura 10-3 Utilización de la red Surber



Todo el material de la red Surber de cada punto se llevó a un frasco plástico con agua y al cual se le adicionó alcohol al 70%, con el fin de preservar los macro invertebrados. La rotulación de cada recipiente tuvo en cuenta, tomador de la muestra, fecha, lugar de muestreo, período climático, sustrato y hora.

Fase de laboratorio

Este proceso se realizó en el Instituto Tecnológico del Putumayo (ITP) en Mocoa en el laboratorio de aguas. Se realizó la debida separación de la muestra completa aplicando los siguientes pasos según la metodología (IDEAM, 2017).

Se lavó pequeñas porciones de la muestra en un tamiz de 500 μm de malla para remover el sedimento fino. El material orgánico grande como (hojas enteras, ramas etc.) no se desechó en el campo, sino que se enjuago, para luego inspeccionar visualmente. Como la muestra se había preservado en alcohol, se remojó en agua durante de 15 minutos para así hidratar los organismos bénticos, lo cual evitó que floten sobre la superficie del agua durante la separación.

Después del lavado, se extendió el material equitativamente sobre una bandeja y se adicionó una pequeña cantidad de agua para realizar la separación. Luego las muestras y los macro

invertebrados fueron separados con una pinza y posteriormente fueron colocados en el portaobjetos para su debida identificación.

Los macroinvertebrados obtenidos de los diferentes grupos presentes fueron identificados a familia y/o género utilizando los trabajos de Pennak (1978); Roldán (1988) y Roldán (2003). Se tuvo en cuenta su presencia y su cantidad (densidad) que se calculó sobre m^2 de superficie de recolección.

El Análisis de Componentes Principales se realizó con la función *prcomp* del paquete base *stats*. Para el cálculo del VIF se usó la función *vif* del paquete *usdm* (Naimi, 2013; Naimi *et al.*, 2014). El mapa de calor se realizó con la función *heatmap* del paquete base *stats* (R Development Core Team, 2017).

Las correlaciones se realizaron con la función *rcor.test* del paquete *lrm* (Rizopoulos, 2006; 2015) y el gráfico de correlaciones con la función *corplot* del paquete *corplot* (Wei y Simko, 2016).

Fase de Análisis de la información biológica

Para la evaluación de la calidad del agua, se aplicó el BWMP_{col} (Roldán (2003); así mismo la asignación de valores para cada familia se hizo teniendo en cuenta los valores obtenidos por este mismo autor. Para la aplicación, se designó el valor establecido para cada familia en 10 niveles, con las puntuaciones de 1 a 10, siendo 1 un número de mayor tolerancia y 10 de menor tolerancia; al final se realizó la sumatoria de todas las familias encontradas por estación de muestreo, proporcionando de esta forma un puntaje total del índice BMWP para determinar la calidad del agua del sitio.

3.3 Componente Social

Los mapas parlantes elaborados se realizaron con las familias asentadas sobre las márgenes derecha e izquierda aguas arriba y aguas abajo de los ríos Sangoyaco y Taruca del municipio de Mocoa, Departamento del Putumayo, quienes accedieron a participar en la actividad que se socializó con anticipación.

La técnica consiste en lograr el dibujo de mapa del área específica de estudio (ríos Sangoyaco y Taruca); a través de un proceso participativo construido en comunidad que se desarrolla en tres pasos:

Primer paso: Convocatoria y socialización de proceso metodológico. Este paso comprende la convocatoria de los actores claves del proyecto y la socialización del proceso de construcción de los mapas parlantes enfatizando al mismo tiempo la importancia de la participación organizada en la construcción de dichos instrumentos y la utilidad en los diagnósticos y auto evaluación progresiva.

Segundo Paso: Dibujo del mapa tomando como referencia el recorrido del cuerpo hídrico, se dibujan los mapas, en ello se señalan los linderos comunales y los hitos geográficos más importantes como son; las vías de comunicación, fuentes acuíferas, áreas de cultivo, áreas de pastoreo, áreas forestales, áreas degradadas, puentes, vías de acceso, etc. incluyendo las principales infraestructuras de la comunidad. Para la gráfica de los mapas es importante seguir algunas pautas: **a)** Organizar a los participantes en grupos diversos y solicitarles que recuerden, observen, analicen y dibujen su comunidad, enfatizando la situación de sus recursos en diferentes tiempos (pasado, presente y futuro). **b)** Cada mapa deberá contener los aspectos más importantes que hacen al cuerpo hídrico, por ejemplo, cursos de agua, vías de ubicación, áreas forestales, infraestructura de riego, etc., **c)** Cada grupo presenta los mapas y se identifican las semejanzas y las carencias de cada uno de ellos y **d)** Se discute con los participantes que temas prioritarios o problemas presentan los mapas y que dicen sobre las actividades de las personas que construyen el territorio. Para la elaboración de los mapas se usan elementos naturales, acuarelas, recortes de revistas.

Tercer paso: Verificación en campo una vez dibujados los mapas, los participantes deben realizar un recorrido por las principales áreas con la finalidad de contrastar los sectores y zonas de tratamiento, durante el recorrido los participantes hacen las correcciones respectivas pintando y coloreando lo que observan directamente en el terreno.

Durante dos días (7-8 de noviembre de 2016) se realizaron mesas de trabajo, con participación activa de veinticuatro (24) personas, comprendidos en dos grupos de adultos, un primer grupo de dieciséis (16), que superaban los cuarenta años y un segundo grupo con adultos entre los veinte y cuarenta años, este segundo grupo lo conformaban ocho personas. Estos talleres se desarrollaron en la casa del señor José Ospina Henao, residente de la zona de influencia del estudio. Se utilizaron herramientas de diagnóstico participativo (Cardozo, 1997; Geilfus, 1996), mapas parlantes (ver la figura 2-3), donde los participantes dibujaron y ubicaron sobre papel áreas importantes de vertimientos, importancia ambiental, cultivos, entre otros. Esta actividad

permitió identificar las diferentes problemáticas y fortalezas de los dos ríos. Se discutieron las apreciaciones de cada grupo.

Metodológicamente se solicitó a las personas que dibujen su zona de influencia dentro del área descrita y todo lo que hay en ella en términos ambientales, para esto por cada uno de los tres escenarios, (mapa del presente, pasado y futuro); se generaron preguntas eje que orientaron la consecución de la información. Se expresó a cada uno de los participantes que no existen parámetros de calificación o de estética y que lo importante es reconocer “cómo ven la vereda”, percepciones que luego fueron socializadas en carteleras trabajadas por ellos, permitiendo conocer inquietudes y la percepción de las comunidades sobre los ríos.

Se realizan tres tipos de mapas de acuerdo con Schonhuth & Kievelitz, (1994):

Mapa Ambiental Histórico o del Pasado

El objetivo de la realización del mapa histórico radicó en conocer eventos sin antecedentes reportados o registrados en el estado del arte de estos cuerpos hídricos; considerando los cambios ambientales más importantes, enfatizando en los elementos agua y cobertura vegetal. De esta manera para el logro de este objetivo se hizo necesario definir la siguiente información: Recopilar información de cómo la población percibe los cambios ambientales en la zona y establecer eventos históricos ambientales claves para la población y que hayan generado cambios significativos sobre los ríos Sangoyaco y Taruca.

Mapa Ambiental del Presente

El segundo mapa a construir contempla el escenario actual que se presenta en la confluencia de los ríos Sangoyaco y Taruca; se construirá a partir de las de las siguientes preguntas orientadoras: ¿Cómo es la vereda hoy? ¿Qué actividades consideran ser las que más impactan en la zona de confluencia de los ríos? ¿Hay zonas de bosque en el área de influencia? ¿Qué recurso considera el más afectado?, Sí se ha presentado un cambio sobre el agua, ¿por qué se ha dado, cuáles son los factores que afectan al agua? ¿Cómo es el suelo en la zona? ¿Necesitan abonos u otros productos para producir?, ¿Para usted cuáles son las necesidades identificadas por la comunidad, con respecto al agua?, ¿Cuáles son las problemáticas ambientales del lugar?

Mapa del Futuro

Para el desarrollo del tercer mapa se invitó a los participantes a responderse las siguientes preguntas: ¿Cómo se imagina la zona que habitan dentro de 10 años? ¿A qué se dedicará usted y sus vecinos? ¿Cómo cree que estará la situación de agua en diez años, en cantidad y calidad? ¿Cómo estará el suelo dentro de 10 años? ¿Qué necesidades y problemáticas ambientales tendrá su lugar de residencia en el futuro? ¿Cuáles recursos de la naturaleza deberían conservarse, cómo y por qué? ¿Qué es para usted el Medio Ambiente? ¿quién considera ser el responsable del cambio que debe darse en este lugar? Y plasmar a través de un dibujo como quisieran ver su lugar de residencia a un futuro no mayor a 10 años; una vez terminado este mapa deberá socializarse frente a los participantes.

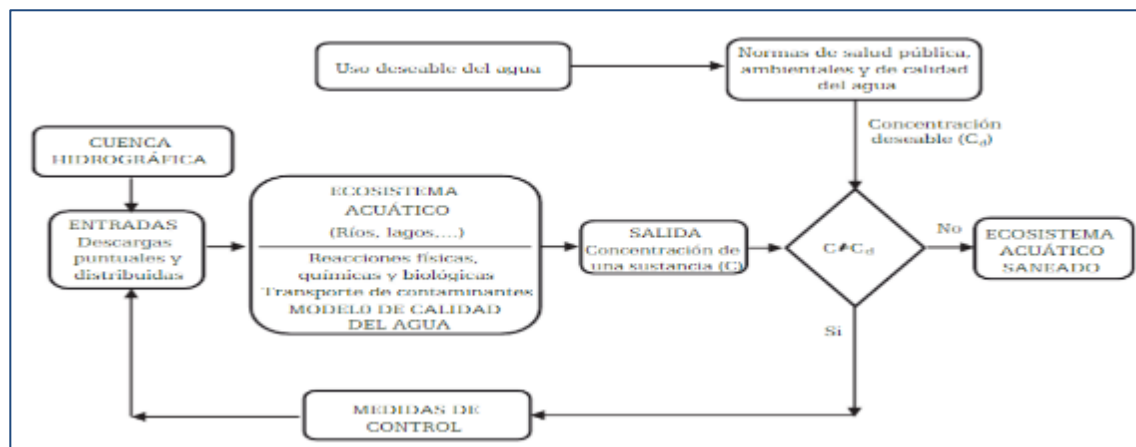
Se retó a la comunidad participante a dibujar un escenario prospectivo del área de investigación con el propósito de conocer la visión tanto de niños, jóvenes y personas adultas sobre como quisieran que fuese su lugar de residencia y comprender el relacionamiento que tienen con sus recursos naturales; se encuentran versiones muy puntuales que además de exigir un cambio ambiental solicitan un reconocimiento gubernamental, que los incluya en políticas participativas, donde el río se observe como un recurso hídrico mas no como una fuente de aprovechamiento económico o un reservorio de agua residuales domésticas y residuos sólidos.

4. Capítulo 4 RESULTADOS

El agua circula naturalmente a través de diferentes vertientes que, para el caso puntual de la investigación, están los ríos, que en ciertas poblaciones del territorio colombiano estas vertientes sirven para el abastecimiento de agua en los municipios para el consumo, otras veces utilizadas en la agricultura y para la generación de energía. El problema actual que se tiene, surge principalmente y que fue el principal soporte del estudio, son las descargas de aguas residuales provenientes de actividades humanas y naturales que, de alguna manera, interfieren con la calidad del agua.

Sierra (2011) presenta un esquema que debería ser utilizado en la administración de cualquier recurso hídrico que se quiera mantener en condiciones óptimas de calidad del agua.

Figura 11-4. Ingeniería de la calidad del agua



Fuente. Sierra (2011)

El agua, cualquiera que sea su estado, está caracterizada por ciertas propiedades que la distinguen de los demás líquidos y su calidad se determina analizando en el laboratorio varios parámetros físicos, químicos y biológicos.

4.1 Evaluación de la calidad del agua a través de características físicas y químicas de la zona de estudio - ríos Sangoyaco y Taruca antes y después de su confluencia

Las muestras para el análisis fisicoquímico fueron tomadas en las seis estaciones: Sangoyaco aguas lentas, Sangoyaco aguas rápidas, Taruca aguas lentas, Taruca, aguas Rápidas, Confluencia aguas lentas y Confluencia aguas Rápidas. Como ya se comentó fueron analizadas en el laboratorio de Aguas de Corpoamazonia en Mocoa y comparadas durante las dos jornadas de muestreo realizados en octubre 2015 y enero 2016.

En las Tablas 10-4, 11-4 y 12-4 se indica presenta la estadística descriptiva de los datos de campo y laboratorio de las condiciones físicas y químicas de los dos sistemas en los diferentes lugares donde se tomaron datos. Para una mejor comprensión se han realizado análisis por grupos de variables así:

1. Mineralización, condiciones y aportes cuenca: Se tiene en cuenta las variables: temperatura, pH y conductividad con STD.
2. Metabolismo y carga orgánica: Se analizan OD, DBO₅ y DQO.
3. Nutrientes: se tienen en cuenta nitratos, nitritos y fosfatos y
4. Microbiología: contemplando los coliformes fecales y totales.

En la tabla se reporta este análisis estadístico básico para todo el estudio (Tabla 10-4), para la época de lluvias (Tabla 11-4) y para la temporada de sequía (Tabla 11-4). Los datos originales de presentan en el **Anexo 01**. En el **Anexo 02** tenemos algunas figuras (tipo cajas y bigotes) para épocas de muestreo (lluvia y sequía) y para hábitats (rápidos y lentos).

Tabla 10-4. Estadística descriptiva de los datos físicos y químicos de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca. Explicación en el texto

	n	Media	Mediana	Min	Max	Varianza	Std.Dev.	Coef.Var.
Temp	12	19,991	20,040	18,2000	21,100	0,8	0,8815	4,4095
pH	12	5,968	5,965	5,7000	6,090	0,0	0,1081	1,8114
OD	12	7,462	7,380	6,3600	8,250	0,3	0,5825	7,8072
Cond	12	14,108	14,140	12,9300	15,080	0,6	0,8053	5,7082
STD	12	745,833	669,500	201,0000	1723,000	247125,1	497,1167	66,6525
NO₃	12	1,407	1,355	0,7300	2,050	0,2	0,4069	28,9251
NO₂	12	0,033	0,030	0,0200	0,090	0,0	0,0196	60,3023
PO₄	12	1,250	1,025	0,4000	3,400	0,6	0,7679	61,4331
DBO₅	12	2,730	1,520	0,0100	7,220	8,0	2,8210	103,3345
DQO	12	11,358	10,000	10,0000	17,600	6,3	2,5134	22,1283
CT	12	1208,333	1000,000	500,0000	2200,000	391742,4	625,8933	51,7981
CF	12	208,333	200,000	100,0000	500,000	15378,8	124,0112	59,5254

Tabla 11-4 Estadística descriptiva de los datos físicos y químicos de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca. Época de lluvia

	n	Media	Mediana	Min	Max	Varianza	Std.Dev.	Coef.Var.
Temp	6	19,413	19,600	18,2000	20,080	0,5	0,7101	3,65788
pH	6	6,015	6,035	5,9000	6,090	0,0	0,0802	1,33312
OD	6	7,912	7,980	7,3600	8,250	0,1	0,3092	3,90758
Cond	6	14,793	14,920	14,2400	15,080	0,1	0,3166	2,14049
STD	6	1050,500	868,000	523,0000	1723,000	255903,5	505,8691	48,15507
NO₃	6	1,218	1,220	0,7300	1,550	0,1	0,3026	24,83313
NO₂	6	0,035	0,025	0,0200	0,090	0,0	0,0274	78,24608
PO₄	6	1,083	1,050	0,4000	1,700	0,2	0,4792	44,23712
DBO₅	6	3,338	3,395	0,0100	6,500	9,6	3,0927	92,64312
DQO	6	10,683	10,000	10,0000	14,100	2,8	1,6738	15,66756
CT	6	1166,667	1000,000	500,0000	2000,000	466666,7	683,1301	58,55400
CF	6	283,333	200,000	200,0000	500,000	17666,7	132,9160	46,91153

Tabla 12-4 Estadística descriptiva de los datos físicos y químicos de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca. Temporada de sequía

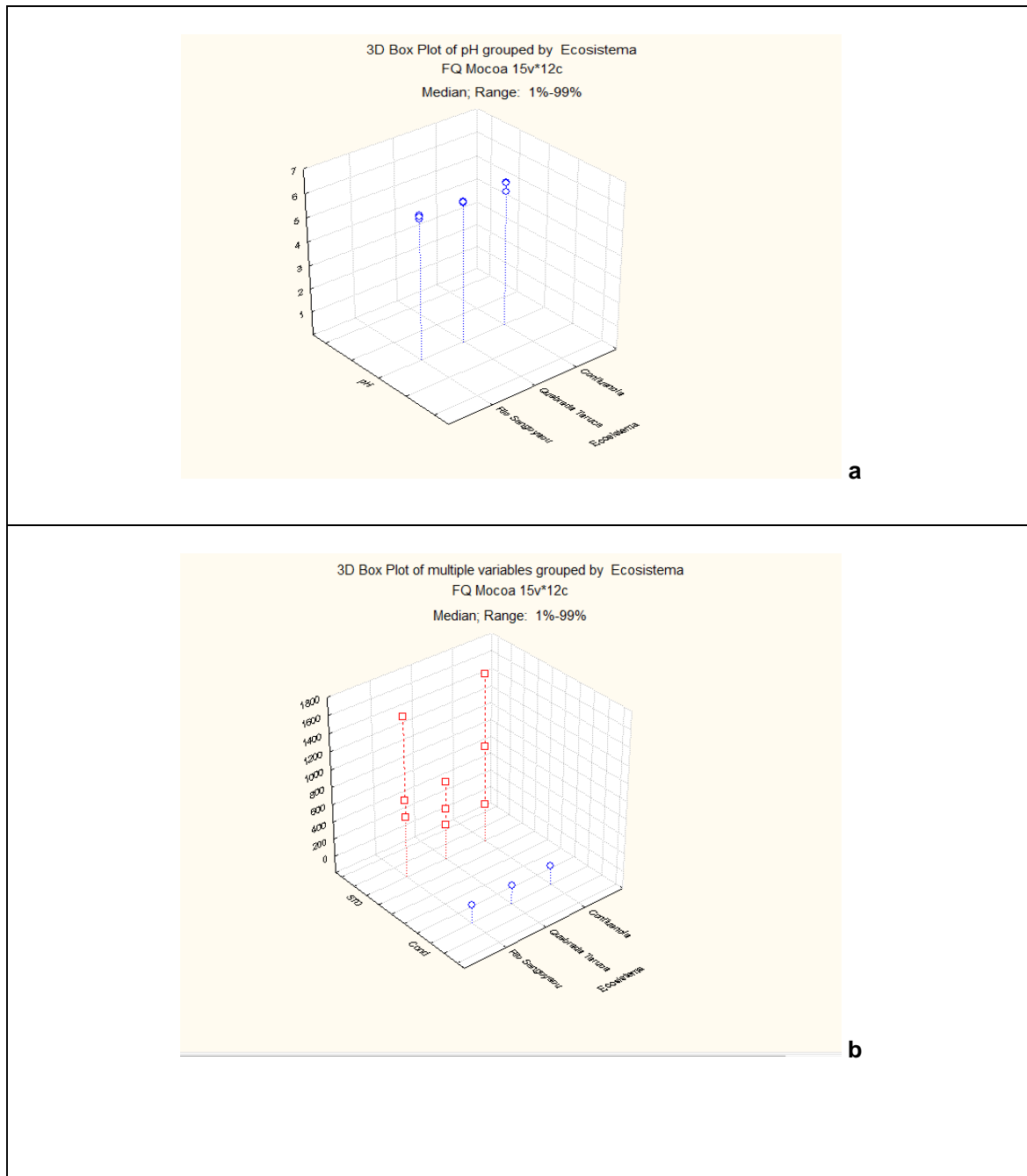
	n	Media	Mediana	Min	Max	Varianza	Std.Dev.	Coef.Var.
Temp	6	20,568	20,850	19,5000	21,100	0,4	0,6363	3,0934
pH	6	5,922	5,945	5,7000	6,050	0,0	0,1186	2,0022
OD	6	7,012	7,100	6,3600	7,380	0,2	0,4062	5,7935
Cond	6	13,422	13,380	12,9300	14,040	0,2	0,4445	3,3114
STD	6	441,167	376,000	201,0000	824,000	64999,4	254,9497	57,7899
NO₃	6	1,595	1,630	0,9800	2,050	0,2	0,4331	27,1518
NO₂	6	0,030	0,030	0,0200	0,040	0,0	0,0089	29,8142
PO₄	6	1,417	1,025	0,6600	3,400	1,0	1,0005	70,6231
DBO₅	6	2,122	1,370	0,0100	7,220	7,1	2,6561	125,1896
DQO	6	12,033	10,250	10,0000	17,600	10,0	3,1627	26,2828
CT	6	1250,000	1000,000	500,0000	2200,000	391000,0	625,2999	50,0240
CF	6	133,333	100,000	100,0000	200,000	2666,7	51,6398	38,7298

Mineralización, condiciones y aportes cuenca

Los dos sistemas estudiados corresponden a pequeños sistemas fluviales de pendiente (piedemonte) y de ubicación ecuatorial; por lo tanto, la temperatura del agua es constante y varía poco ($19.9 \pm 0,63$ °C, n=12; Tabla 10-4). La temperatura tiene un valor menor al promedio durante las lluvias (\bar{x} 19.41 °C; Tabla 11-4) y los mayores valores en los momentos de menor flujo de agua o sequía con \bar{x} 20.56 °C (Tabla 12-4), lo cual es propio de esta región ecuatorial.

Una variable de interpretación de estos ambientes es el dato del pH; los datos indican aguas con tendencia a la acidez (5.96 ± 0.1), con poca diferencia entre la época de lluvias y sequía. En la Figura 12-4 vemos el comportamiento de esta variable. Pocas diferencias se observan por ecosistema (Sangoyaco, Taruca y Confluencia), por estación (zona rápida y zona lenta) y por período (lluvia y sequía; Tablas 10-4 a 12-4).

Figura 12-4. Comportamiento de algunas variables a) pH, b) STD y conductividad



La condición de mineralización de las aguas se puede medir, tanto por la conductividad como por los Sólidos Totales Disueltos (Figura 12-4). En el caso de la conductividad los valores son bajos ($14.1 \pm 0.8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), con pocas variaciones entre los ecosistemas, las estaciones y los períodos de muestreo (Tablas 10-4 a 12-4). De acuerdo a Yepes (2004), la conductividad a partir de los $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ en ríos colombianos empieza a señalar problemas de contaminación y a partir

de 275 condiciones salobres; el valor de conductividad reportado en este estudio se encuentra dentro del rango establecido para los ríos de montaña, el cual es de 30-60 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los resultados obtenidos en las estaciones muestreadas se encuentran por debajo de estas puntuaciones y por lo tanto puede afirmarse que no se evidencia deterioro ambiental en las estaciones muestreadas.

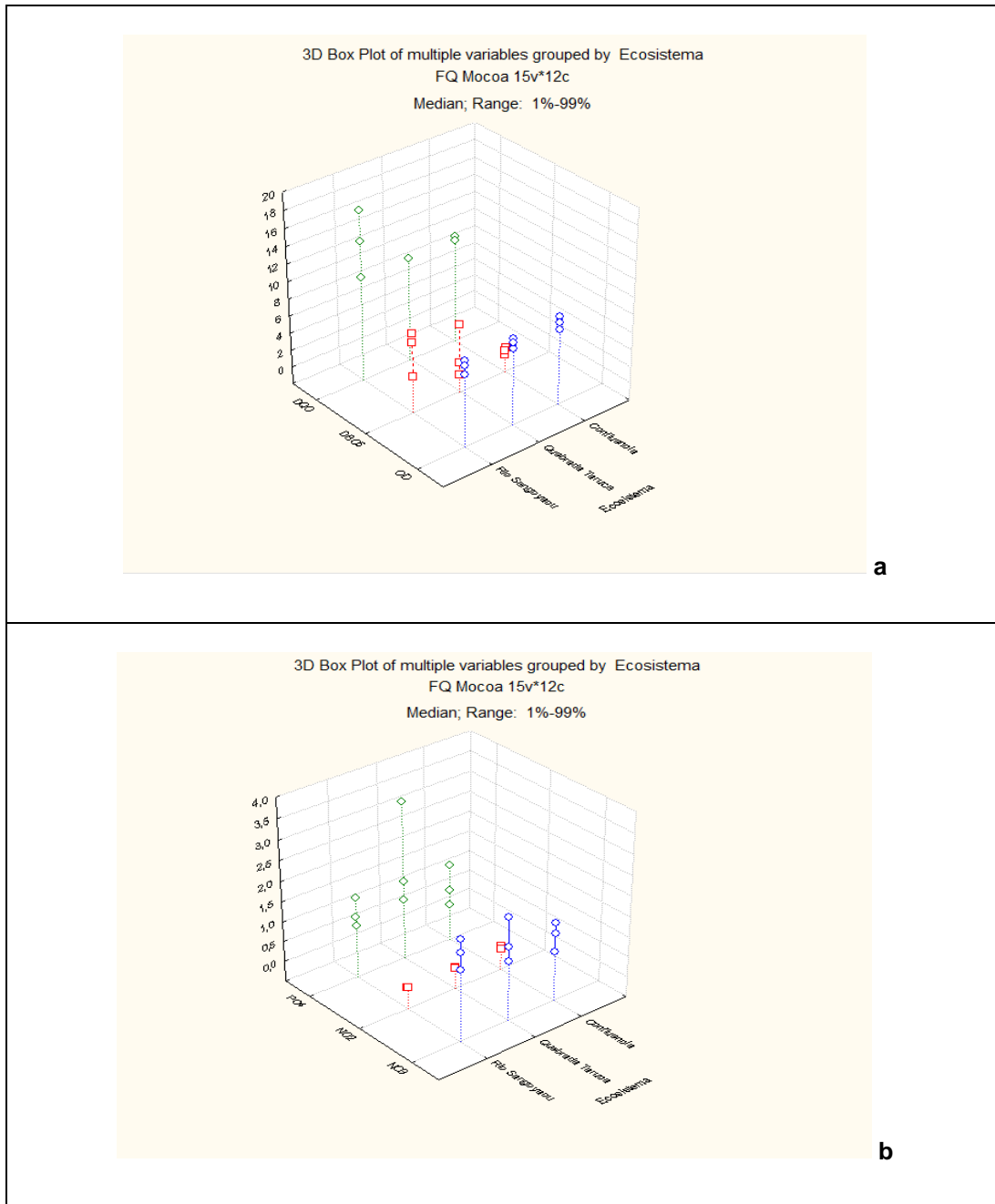
Los sólidos disueltos totales (SDT) presentaron valores bastante altos (Tablas 10-4 a 12-4 y Figura 12-4), estando muy por encima de los límites permisibles establecidos para calidad de agua superficial. En la Figura se denota que es el río Sangoyaco y Taruca el responsable de los altos valores de SDT en el sistema y en la zona de confluencia.

Metabolismo y carga orgánica

La primera variable de este grupo es el OD que tuvo un valor promedio de 7,5 mg/l / (Tablas 10-4 a 12-4 y Figura 13-4, lo cual corresponde a un adecuado nivel para la vida acuática (calidad de agua para hábitat de peces debe ser mayor a 4 mg/l (Gualdron, 2016). Siendo ambos ríos de montaña, estos niveles deberían ser aceptables. Del mismo modo, los altos valores de OD indican un excelente proceso de degradación de la materia orgánica en condiciones aeróbicas, por lo tanto, la DOB_5 (\bar{x} 2,73 mg/l) y la DQO con \bar{x} 11.35 mg/l son bajas (Figura 13-4). Siempre será más alta la DQO que mide tanto material de fácil descomposición (que es la DBO_5) como material de difícil degradación. En época de lluvias hay aumento de la carga orgánica al sistema logrando que la DBO_5 por ejemplo se incrementa (Tabla 11-2) respecto del momento de sequía (Tabla 12-2). La DQO cambia poco entre los dos momentos de muestreo.

Existe una relación entre las concentraciones de nitratos (dentro de los límites permisibles), nitritos (dentro de los límites permisibles), fosfatos (levemente superior a lo establecido en la norma) y oxígeno disuelto, que señalan que altos niveles de estos compuestos generan eutrofización, es decir, proliferación descontrolada de algas que provocan disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua.

Figura 13-4 Comportamiento de algunas variables a) OD, DBO5 y DQO y b) Nutrientes (PO4, NO2 y NO3)



Nutrientes

Tres tipos de variables son tenidas en cuenta: para el fósforo se miden los fosfatos (PO_4) y para el nitrógeno en forma reducida (nitritos o NO_2) y forma oxidada como son los nitratos (NO_3). En el caso de los fosfatos tenemos un valor de $1.25 \pm 0,76$ mg/l (Tabla 10-4). Hay un leve cambio de disminución en lluvias (Tabla 11-4) y de aumento en sequía (Tabla 12-4). Taruca presenta mayor concentración respecto de Sangoyaco y la Confluencia (Figura 13-4b).

Los nitritos tienen un valor promedio de 0,033 mg/l con muy baja variación entre esfuerzos de muestreo (Tablas 10-4 a 12-4) y estaciones (Figura 13-4b). Y en el caso de los nitratos vemos la misma tendencia, un \bar{x} 1,47 mg/l con leves cambios entre lluvias y sequía y un poco mayor en Taruca (Figura 13-4b).

Microbiología

Dos variables son tenidas en cuenta, los coliformes fecales CF y los totales o CT. En el primer caso los valores reportados son de $208,3 \pm 124,1$ UFC (Tablas 10 a 12). La alta desviación estándar DS indica cambios en los valores que se observan en la Figura 14, siendo mayores en el río Sangoyaco; así mismo (Anexo 01) vemos que la variación de los CF entre épocas es importante entre lluvias (se elevan) respecto de sequías. En cambio, no hay variaciones fuertes entre hábitats.

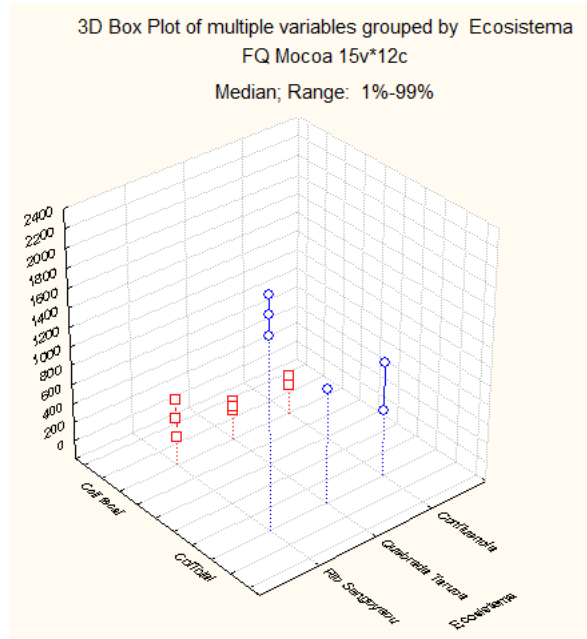
Para la CT se observan cambios importantes por ecosistema y por época, por ellos los valores encontrados son de 1208 ± 625 UFC (Tabla 10), es decir una DS muy alta. El cambio más fuerte ocurre en el río Sangoyaco (Figura 14) y menos entre épocas y hábitats (Tablas 11 y 12 y **Anexo 01**).

Las variables estudiadas al comparar con las normas nacionales (Artículos 38 y 39 del Decreto 1594 de 1984 de la Presidencia de La República, de los Artículos 3 y 7 de la Resolución 2115 del Ministerio del Ambiente y Artículo 9 de la Resolución 631 de 2015 del Ministerio del Medio Ambiente), nos indican que solo los STD están por encima de las normas que podemos comparar y que, algunas veces el pH tiene valores menores al rango de norma nacional (Tabla 13). En el **Anexo No 2** se encuentran las demás figuras del análisis.

Tabla 13-4 Comparación de valores físicos y químicos con las normas nacionales

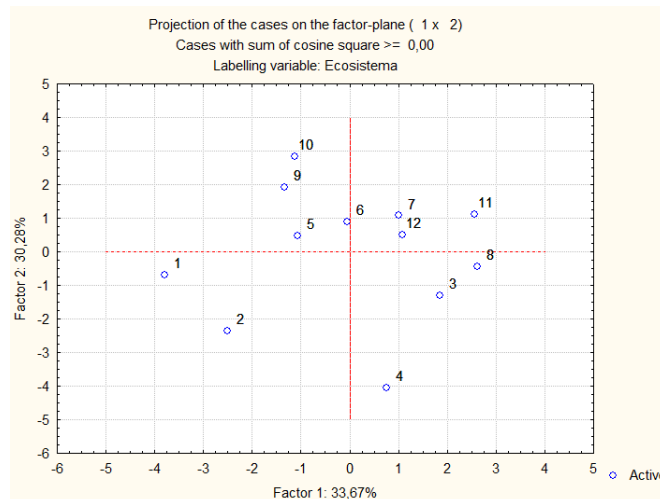
Variable	Datos presente estudio	Decreto 1594 DE 1984	RES. 2115 de 2007 y 631 DE 2015
pH	5.7 - 6.9	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0
Conductividad $\mu\text{S/cm}$	12.9 - 15.08		100
STD mg/l	201.0 - 1723		100
PO₄ mg/l	0.4 - 3.4		0,5
NO₂ mg/l	0.02 - 0.09	1.0	
NO₃ mg/l	0.73 - 2.05	10	
DBO₅ mg/l	0.01 - 7.2		50
DQO mg/l	10.0 - 17.6		150
Coliformes Fecales NMP	100 - 500	2.000	
Coliformes Totales NMP	500 - 2.200	20.000	

Figura 14-4 Comportamiento de los coliformes fecales y totales



Un Análisis de Componentes Principales realizado a los datos físicos y químicos (Figura 15 y **Anexo 03**) muestra que los puntos del río Sangoyaco se alejan del resto, Taruca y Confluencia por el efecto de los mayores valores de los STD que ya se comentaron ubicándose en la parte baja de la Figura.

Figura 15-4 ACP de datos físicos y químicos. Siglas sitios S: Sangoyaco T: Taruca y C: Confluencia. Épocas LL: Lluvia y Se: Sequía. Hábitat R: rápido y L: Lento. Relación de números: 1 (S-LI-R) 2 (S-Se-LI) 3 (S-Se-R) 4 (S-Se-L) 5 (T-LI-R) 6 (T-LI-L) 7 (T-Se-R) 8 (T-Se-L) 9 (C-LI-R) 10 (C-LI-L) 11 (C-Se-R) y 12 (C-Se-L)

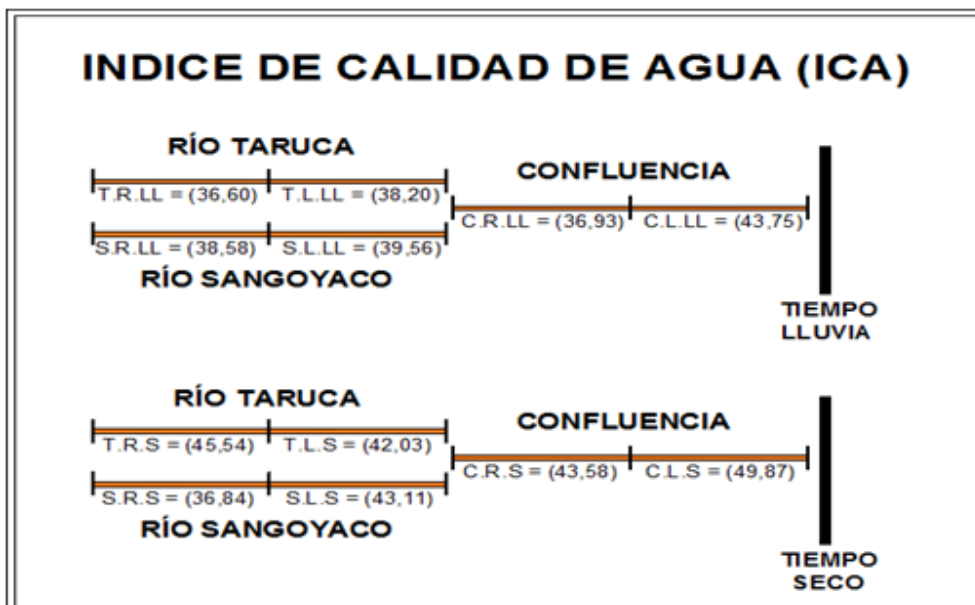


4.2 Evaluación de la calidad del agua a través de la utilización del índice de calidad del agua -ICA-

En la Figura 16 vemos el resultado de aplicar el ICA a los datos físicos y químicos obtenidos. Los tres sitios Sangoyaco, Taruca y Confluencia mostraron un ICA que marca alta contaminación, así como en zonas de rápidos y lentos (valores entre 26 y 50), recordando la Tabla 3, este rango del ICA equivale a una condición “mala” color naranja o sea un estado de contaminación que requiere atención inmediata.

En ninguno de los períodos evaluados en que se tomaron muestras en todo el tramo estudiado, los resultados arrojaron valores de ICA que permitieran considerar el agua como de buena calidad. Incluso se observa que ya en la parte baja de la Confluencia, en período seco aumenta dicha degradación ambiental (Figura 16). En el capítulo de Discusión se hará un análisis sobre los que dicen las normas de calidad en Colombia y lo reportado en el ICA.

Figura 16-4. Valores del ICA para el estudio



4.3 Evaluación de la calidad de agua con macroinvertebrados

A continuación, luego del análisis de las condiciones físicas y químicas de las aguas, pasamos a estudiar cómo están los dos ecosistemas objeto de estudio, en sus diferentes sitios y momentos, a través del estudio biológico de uno de los grupos de organismos más comunes a encontrar en este tipo de ambientes lóticos como son los macro invertebrados. Ellos son de frecuente uso como indicadores de la calidad ambiental en el mundo (Helawell, 1986; DMA: Directiva Marco del Agua 2000; Tiller & Metzelling, 2002) y en Colombia (Roldán-Pérez 2016).

La bioindicación es entendida como una mirada ecológica a la presencia de un organismo en la naturaleza que por su simple vista, nos indica que la especie, en ese momento sobrevive porque hay condiciones en el ambiente que le son favorables (Roldán-Pérez 1999; Callisto et al 2005; Abarca 2007; Gamboa et al 2008; Fernández 2012; Ladrera et al 2013). Incluso en la cuenca amazónica es frecuente ver estudios del tema (Ortega et al, 2010; Canales ,2015; Liñero et al 2016; Gonzáles et al, 2017 y Pinto, 2018).

Para nuestro país es prolífica la información existente, la cual es recopilada y analizada por Roldán-Pérez (2016) donde destaca el uso de estos organismos en muchos países del mundo y, para Colombia cita y describe más de un centenar de publicaciones.

Hay que recordar que el diseño de muestreo para los dos sistemas río Sangoyaco y Taruca, se limitó a un tramo de 100 metros aguas arriba de la confluencia de los dos sistemas y 100 metros aguas abajo de este punto; los esfuerzos de muestreos de los macroinvertebrados donde se identificaron dos zonas dentro del cauce como son rápidas y lentas; estas condiciones ocurren en ríos cordilleranos o de montaña por la pendiente que aumenta de velocidad en algunos tramos o sectores del sistema (Giraldo y Cañas 1999): opuesto están las zonas más lentas donde el agua fluye más lento.

Los resultados encontrados en nuestro estudio se resumen en la tabla No 14, con 12 diferentes tipos de macroinvertebrados, de los cuales 9 son órdenes de insectos y 3 pertenecen a otros grupos de invertebrados (gusanos turbelarios, anélidos hirudineos y caracoles dentro de los moluscos). En el **Anexo 04** tenemos los datos originales obtenidos.

Tabla 14-4 Datos biológicos generales del estudio

ESPECIE	Periodo Climático												Total
	Lluvia						Sequia						
	Estación de Monitoreo												
	Taruca		Sangoyaco		Confluencia		Taruca		Sangoyaco		Confluencia		
	RAPIDO	LENTO	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	
LLuvia	LLuvia	LLuvia	LLuvia	LLuvia	LLuvia	Sequia	Sequia	Sequia	Sequia	Sequia	Sequia		
Trichoptera	325	175	0	175	0	350	175	250	75	175	0	300	2000
Diptera	0	0	0	0	900	150	0	0	0	0	0	0	3050
Odonata	250	325	0	0	0	350	0	150	0	0	0	400	1475
Ephemeroptera	0	0	0	175	350	0	0	200	175	175	0	700	1775
Coleoptera	0	375	425	0	0	0	0	550	0	175	900	300	2725
Lepidoptera	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0	125
Megaloptera	0	0	0	150	0	150	0	0	0	150	0	0	450
Plecoptera	0	0	0	0	0	800	0	0	0	250	0	400	1450
Hemiptera	125	0	200	375	350	0	0	0	0	0	0	0	1050
Turbellaria	175	175	0	0	0	0	0	0	175	0	0	0	525
Gastropoda	0	100	0	325	0	300	100	100	0	0	700	0	1625
Hirudinea	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	75

Un análisis de estadística descriptiva lo vemos en la Tabla No 15. Vemos como Coleóptera, Gastrópoda, Lepidóptera e Hirudineos (en ese orden descendiente) tienen en algún momento y sitio las abundancias más altas reportadas para los macroinvertebrados, mientras que Megalóptera y Hemíptera como los grupos de menor abundancia en el estudio. Se denota que grupos considerados buenos indicadores de buenas condiciones como son Efemerópteros, Tricópteros y Plecópteros tienen una abundancia intermedia (Tabla No 15). Más adelante se comentará sobre este tema.

Otro aspecto en la misma tabla de análisis estadístico descriptivo es que las variaciones de las abundancias en todos los 12 grupos taxonómicos son muy altas (ver la varianza y el coeficiente de variación), es decir entre ecosistemas (Sangoyaco, Taruca y en Confluencia), entre períodos de lluvia y sequía y entre hábitats (rápidos y remansos).

En las Figuras 17, 18 y 19 vemos estos mismos datos.

Tabla 15-4. Estadística descriptiva de los datos biológicos

Trico	20	33,0330	0,0000	0,00000	320,000	0197,1	70,7210
Dip	25	46,0000	0,0000	0,00000	225,000	6025,0	77,6209
Odo	23	27,1739	0,0000	0,00000	250,000	5279,2	72,6578
Epheme	26	46,1538	0,0000	0,00000	225,000	6384,6	79,9038
Coleo	23	69,5652	0,0000	0,00000	900,000	42895,3	207,1117
Lepi	26	80,7692	0,0000	0,00000	800,000	34015,4	184,4326
Mega	24	16,6667	0,0000	0,00000	175,000	2155,8	46,4306
Pleco	25	50,0000	0,0000	0,00000	225,000	6250,0	79,0569
Hemi	25	20,0000	0,0000	0,00000	175,000	2604,2	51,0310
Turbe	26	35,5769	0,0000	0,00000	250,000	5758,7	75,8858
Gastro	23	69,5652	0,0000	0,00000	900,000	54031,6	232,4470
Hiru	26	80,7692	0,0000	0,00000	700,000	32815,4	181,1502
Total	26	550,9615	375,0000	75,00000	1500,000	233324,0	483,0363

Figura 17-4 Análisis (tipo cajas y bigotes) de los datos por período hidrológico

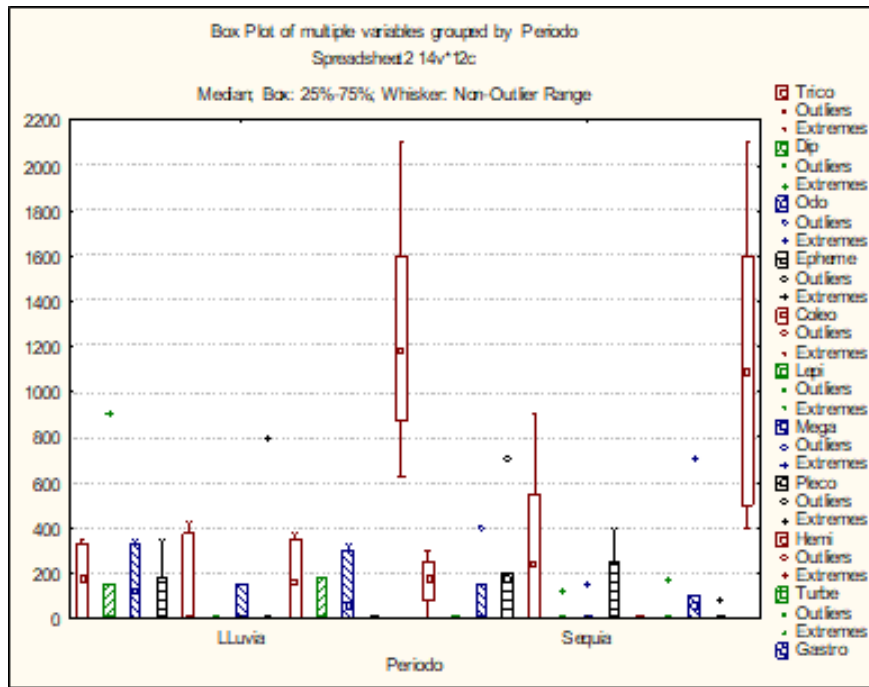


Figura 18-4. Análisis (tipo cajas y bigotes) de hábitats estudiados

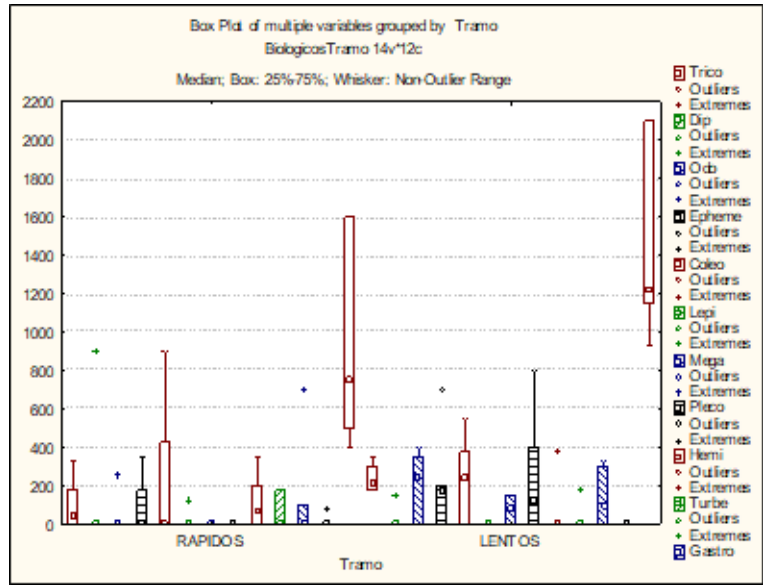
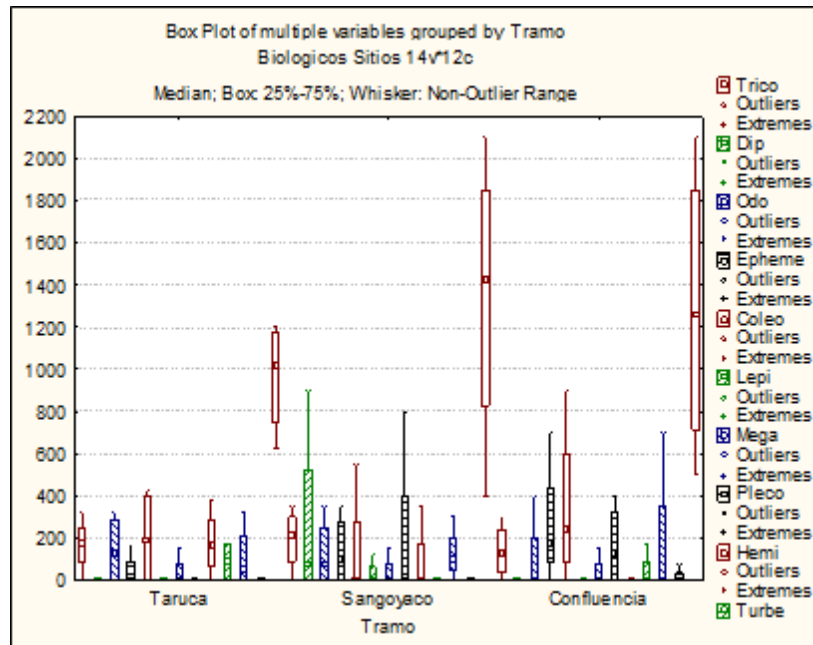


Figura 19-4. Análisis (tipo cajas y bigotes) de los datos por ecosistemas



4.4 Análisis de la calidad del agua basados en el BMWP/col


Como se comentó, el uso de índices s pertinente para darle valor adicional a la presencia de las especies de macroinvertebrados encontrados. En este caso se utiliza en BMWP/col que ha sido descrito en anteriores apartes y que es el más utilizado en Colombia e incluso en otros estudios de la cuenca amazónica, por tanto se tiene opción de comparar nuestros datos con esos estudios. En la Tabla 16 se reportan los datos obtenidos para este estudio.

A continuación, se evidencia la calidad de agua y los diferentes macroinvertebrados encontrados en el área de estudio, diferenciados en su clase y orden y relacionados con el BMWP/col.

A continuación, se evidencia la calidad de agua y los diferentes macroinvertebrados encontrados en el área de estudio, diferenciados en su clase y orden y relacionados con el BMWP/col.

Tabla 16-4. Valores de BMWP calculados Sangoyaco, Taruca y Confluencia

.ESTACION	PERIODO	BMWP	COLO R	CALIDA D	SIGNIFICADO	CLASE
Taruca	Lluvia - Lentos	46	[Color: Purple]	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	III
	Luvia - Rápidos	35		Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	III
	Seco – Lentos	50		Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	III
	Seco – Rápido	16		Critica	Aguas muy contaminadas	IV
Sangoyaco	Lluvia - Lentos	48	[Color: Purple]	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	III
	Lluvia - Rápidos	25		Crítica	Aguas Muy contaminadas	IV
	Seco – Lentos	37		Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	III
	Seco – Rápido	20		Critica	Aguas muy contaminadas	IV
Confluencia	Lluvia - Lentos	84	[Color: Orange]	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	II
	Lluvia - Rápidos	64		Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	II
	Seco – Lentos	36		Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	III

Seco – Rápido	61		Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	II
------------------	----	---	-----------	--------------------------------------	----

- AMARILLO: Aguas moderadamente contaminadas (DUDOSA; **Anexo 5**).

Los macroinvertebrados encontrados en el área de estudio que indica color amarillo, viven en aguas moderadamente contaminadas; el rango del BMWP/Col fue de 36 - 60. Las familias presentes en estos tramos con estas condiciones son: *Dytiscidae*, *Hydropsychidae*, *Planariidae*, *Calopterygidae*, *Libellulidae*, *Elmidae*, *Lymnaeidae*, *Perlidae*, *Aeshnidae*, *Corydalidae*, *Lymnaeidae*, *Naucoridae*, *Baetidae*, *Veliidae*, *Psychodidae*, *Scirtidae*, *Ceratopogonidae*, *Gomphidae*, *Leptophlebiidae*, *Leptohyphidae*, *Dryopidae* y *Corydalidae*.

- NARANJA: Aguas muy contaminadas (CRÍTICA; **Anexo 6**).

La comunidad de macroinvertebrados arrojó un valor de BMWP/Col de 16 - 35, por lo tanto hablamos de aguas CRÍTICAS. Al parecer la alta materia orgánica puede ser la causante de la presencia y abundancia de organismos como *Hydropsychidae*, *Calopterygidae*, *Coenagrionidae*, *Planariidae*, *Corixidae*, *Veliidae*, *Leptohyphidae*, *Ephydriidae*, *ptilodactylidae*, *Veliidae*, *dryopide*, *Psychodidae*, *Pyralidae*, *Lymnaeidae*, *Baetidae*, *Ceratopogonidae* y *Glossiphoniidae*.

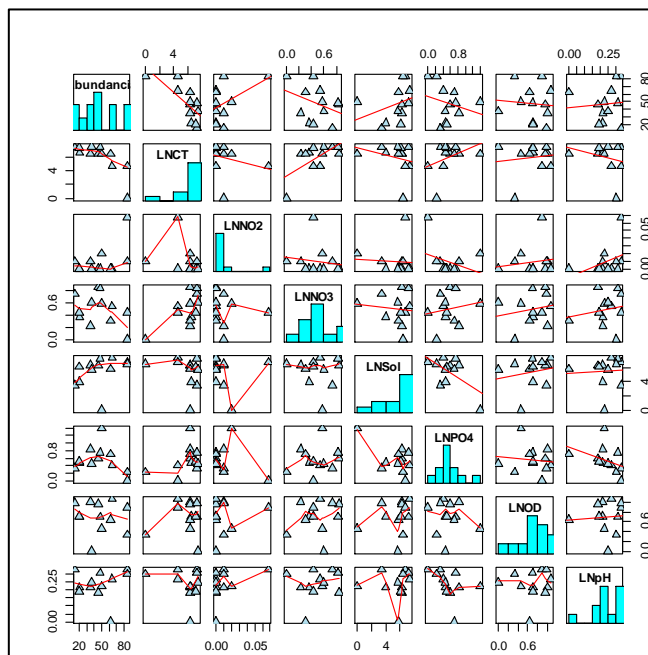
- VERDE: Aguas ligeramente contaminadas (ACEPTABLE; **Anexo 7**).

El valor del índice BMWP/Col para la estación Confluencia en época seca y de lluvias define la calidad de este sector como ligeramente contaminadas con una puntuación que oscila entre los 61-100. Las familias encontradas en esta estación poseen rangos de tolerancia un poco más amplios que las reportadas aguas arriba, para un hábitat que debido a la pendiente de la zona se ha enriquecido con más presencia de oxígeno, de esta manera a disminuido su carga orgánica residual. Algunos organismos presentes son: *Hydropsychidae*, *Calopterygidae*, *Coenagrionidae*, *Planariidae*, *Corixidae*, *Veliidae*, *Leptohyphidae*, *Ephydriidae*, *ptilodactylidae*, *Veliidae*, *dryopide*, *Psychodidae*, *Pyralidae*, *Lymnaeidae*, *Baetidae*, *Ceratopogonidae*, *Glossiphoniidae*, *Corydalidae* y *Naucoridae*.

4.5 Análisis de correlaciones

Realizamos un análisis multivariante comparando tanto los datos físicos y químicos con los biológicos a través de un Análisis de Correlaciones. Para ello se cumplen los supuestos de Normalidad ($p = 0,195$) y que no existe autocorrelación ($p = 0,868$) y hay homocedasticidad en los residuos ($p = 0,317$). En la Figura 20 se muestra la relación que existe entre todas las variables seleccionadas, incluyendo la abundancia de macroinvertebrados y las variables FQ, donde la mayor abundancia se correlaciona positivamente con variables como NO_2 , STD y pH y por el contrario, esta es menor con mayores valores de Coliformes Totales, NO_3 , PO_4 y OD.

Figura 20-4. Análisis de Correlación. DATASETS



4.6 Evaluación ambiental con temas sociales

Conjuntamente con la comunidad asentada en cercanías de los ríos Sangoyaco y Taruca y su zona de Confluencia, se construyó la cartografía social que permitió conocer la historia ambiental de 4 décadas atrás cuando estas dos fuentes hídricas eran consideradas como “aguas puras”, es decir eran ríos con óptima calidad ambiental de aguas claras, altas en oxígeno disuelto y baja carga de contaminantes; Sin embargo, la expansión urbana de la ciudad de Mocoa que impone transformaciones de sus bosques hacia áreas agropecuarias, genera afectación y disminución de esa calidad ambiental que se tenía antes.

El ejercicio metodológico indicado nos permite mostrar:

Mapa histórico Ambiental o del pasado

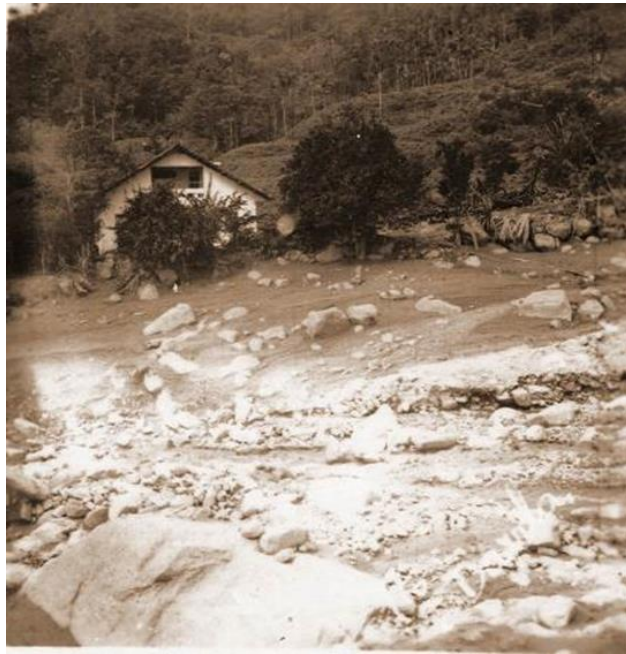
El primer mapa construido hace referencia al histórico ambiental de eventos que surgieron desde el año 1958 y que representaron cambios significativos en el área de influencia y a los cambios ambientales de la zona. En 1958 un gran flujo de lodos y escombros represados se observaron en la parte alta del río Taruca que ocasionó la muerte de tres personas y la pérdida de ganado vacuno; este fenómeno ocurrió durante la noche y tuvo una duración de aproximadamente 12 horas. Luego del fenómeno, el río Taruca y la confluencia con el río Sangoyaco tardaron entre seis y ocho meses en recuperar su cauce normal, la vegetación riparia, y la fauna íctica. Mencionan los pobladores que en aquel tiempo esta fuente hídrica presentaba otro tipo de uso muy diferente al actual, eran utilizados para la pesca y actividades recreacionales. Por su ubicación dentro del municipio de Mocoa, los habitantes se dirigían allí los fines de semana para adelantar actividades lúdico - recreativas; este uso del río hacía que los habitantes tuvieran muy presentes los cambios ocurridos en aquella época y el tiempo que tardó en volver a mejores condiciones en el río.

A continuación, se muestran dos registros fotográficos de la época que muestran claramente la fuerza de este fenómeno natural presentado en aquella época.

Catorce años después, en el año de 1972 (Figura 21), se desborda el río Sangoyaco causando la muerte a tres personas y en esta ocasión rebosa el puente Km cero de la Avenida Colombia, ocasionado daños en el mismo y dejándolo fuera de tránsito aproximadamente por 20 días; según la memoria histórica de los pobladores de esta zona, este evento ha sido de los más

fuertes ocasionados sobre estos ríos; recuerdan que el río sufrió grandes cambios con este evento natural que se presentó; uno de ellos fue el cambio de cauce y la modificación de la confluencia con el río Taruca, la cual se haría a partir de este momento 20,5 metros aguas arriba, ubicándose en el lugar que se encuentra actualmente.

Figura 21-4 Registro histórico evento natural año 1972



Fuente. Archivo familiar 1980

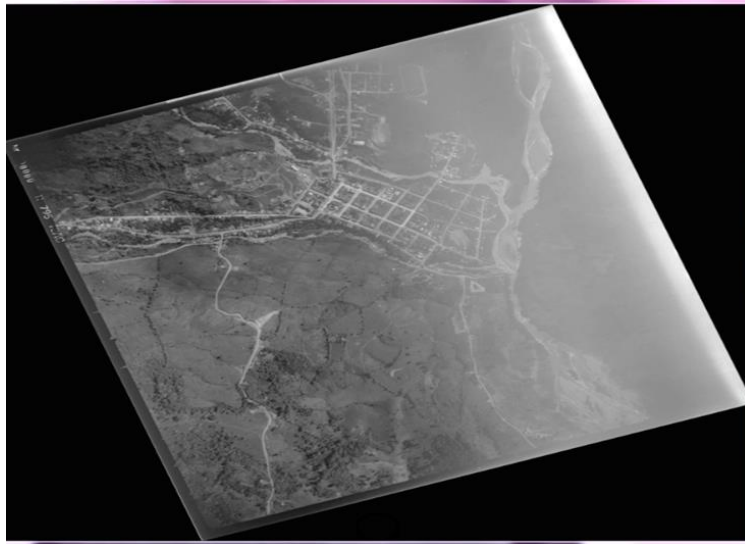
Se logra resaltar del mapa del pasado, el inicio del proceso de urbanización sobre el costado izquierdo aguas abajo del río Sangoyaco y el inicio del cambio en el uso del río, pasando de ser un lugar de encuentro y recreación a un lugar con un inicial nivel de contaminación por la recepción de cargas contaminantes producto de seis casas ubicadas en los barrios que actualmente conocemos como Progreso, Huasipanga y Prados.

La Figura 22 muestra una imagen satelital que permite observar el desbordamiento del cauce del río en aquella época, donde se pudo comprobar ya la enorme fuerza del río Sangoyaco.

En el año de 1989, otro evento natural ocasionado por el río Sangoyaco causa pánico entre la población de esta zona, que por cierto ya está muy poblada, incrementado el número de viviendas en aproximadamente un 500%, pasando de seis viviendas a más de 30; en esta ocasión, se causa la destrucción de cuatro viviendas ubicadas sobre el margen derecho aguas

abajo del río Sangoyaco; la precipitación tiene una duración de dos días, causando un comportamiento similar en otros ríos del municipio de Mocoa como lo son el río Mulato, el cual también genera destrucción en masa de 17 viviendas en el barrio 17 de julio.

Figura 22- Registro panorámico evento natural ocurrido en 1978



Fuente Archivo familiar 1980

Cinco años más tarde, en el año de 1994, los ríos Sangoyaco y Taruca se crecen generando inundación en la zona baja, donde se ubica la plaza de mercado; en esta ocasión se destruye parcialmente el puente del peatonal del río Sangoyaco, sector del barrio Independencia. Afortunadamente no hay pérdidas humanas como en los anteriores eventos, el período de lluvia se extiende a 24 horas continuas y un tiempo de lluvias de aproximadamente 2 meses. Para esta fecha, los ríos Sangoyaco y Taruca ya han modificado totalmente su uso, ya no se desarrollan actividades de recreación ni pesca, puesto que la zona de los barrios aledaños ya está poblada aproximadamente en un 80% y todas ubican sus aguas residuales directamente al cauce de los dos ríos. La memoria histórica de la población muestra la desaparición de diferentes especies ícticas, e incluso mencionan que con la modificación sufrida sobre la vegetación riparia, también se observó en aquella época la ausencia de roedores que eran cazados para alimentación; gran parte de los terrenos ubicados en las riberas de los ríos Sangoyaco y Taruca, aguas arriba y aguas abajo cambiaron de dueño y así mismo cambió el uso del suelo.

Mencionan los pobladores que a partir de esta fecha aparecen parches, denominación dada por ellos a la parcelación para fines agrícolas, los cuales aún se conservan y siempre en incremento.

Para el siguiente año 1995, un gran evento causa pánico entre los pobladores del Municipio de Mocoa ubicados en la zona oriental. Se habla de un gran represamiento de agua en la parte alta del río Taruca, el cual genera peligro por un posible desbordamiento desde la vereda San Antonio, las lluvias duran aproximadamente tres días consecutivos. Existe un desbordamiento en la parte alta el cual logra ser canalizado, evacúan a los habitantes en riesgo y únicamente se presenta la pérdida total de dos viviendas y 3 cultivos de piña y plátano. A partir de este evento se contempla como zona de riesgo alto por posible avalancha de los ríos Sangoyaco y Taruca de la zona oriental del Municipio de Mocoa.

En el año de 1998, luego de un aguacero torrencial de duración 24 horas, se presenta el desbordamiento de los ríos Sangoyaco y Taruca a la altura de la vereda Junín (ubicada a diez minutos del Municipio de Mocoa), ocasionando la pérdida total de 10 hectáreas de pastizales y ganado vacuno. En la confluencia de los ríos existe represamiento de los escombros arrastrados por el agua; este evento coloca en peligro a los habitantes ribereños, para lo cual se realiza el llamado a la comunidad a apoyar el retiro de la palizada que ocasiona el inminente peligro, con este apoyo se logra en 4 horas que el riesgo disminuya y la lámina de agua se reduzca.

Se concluye con la comunidad que la confluencia de los dos ríos era un lugar privilegiado por su diversidad y abundancia natural dentro del municipio de Mocoa; para los años 50, esta zona era considerada como una reserva para la pesca y la caza, el 100% de la vegetación riparia era nativa y representada por grandes árboles ubicados en las dos márgenes de los ríos, era muy densa, permitiendo la llegada de monos y diversas especies de aves que en aquella época eran usadas para alimento (Figura 23). Comentan el avistamiento de números jaguares que llegaban hasta esta zona, los cuales eran cazados luego de organizar faenas de caza entre los habitantes de la zona para su protección, las aguas se tornaban bastante frías y el caudal era mayor al actual, esta condición generó que las viviendas se ubicaran como mínimo a 50 metros de la ribera, los ríos eran más bravos, (denominación dada por los participantes de la elaboración del mapa a un río más caudaloso y con corrientes más fuertes) en aquel entonces escasamente existían dos viviendas sobre esta área, pero por la cercanía del pueblo y la escasa población era fácil convocar faenas de caza.

Figura 23-4. Mapa parlante del pasado



Para el año de 1972 se ha incrementado la población en 6 viviendas ubicadas en la zona de confluencia, trayendo consigo deforestación de áreas un poco más extensas para el cultivo de algunas especies de pan coger y animales de granja, empieza a notarse el incremento de viviendas aguas arriba y aguas abajo desde el municipio de Mocoa; existe presencia de vertimientos directos sobre la fuente hídrica, lo cual ha obligado a la población a cambiar algunas actividades que se desarrollaban en el río como la recreación.

El uso del suelo tuvo lugar para este mismo tiempo con abundantes cultivos de producción de caña; de acuerdo a narración de los habitantes de la zona *“esta ambición que fue creciente y exponencial de momento, tanto que se creía que Mocoa sería una capital panelera”*; tanta dicha e ilusión no fue tan cierta puesto que a los pocos años los suelos empezaron a empobrecer y los cultivos a dejar de producir de manera rentable para los agricultores. Fue entonces cuando se abandonó este cultivo y se buscó otras estrategias de sustento. Quedan así grandes parches de áreas totalmente deforestadas cerca de los ríos Sangoyaco y Taruca. Recuerdan los participantes de la actividad que a partir aproximadamente del año 1975 cambió totalmente el uso de los suelos de los dos ríos y la disminución de animales para cacería y pesca; la comunidad se abstuvo de pescar en esta agua y por el contrario realizaban las actividades en otros cuerpos de agua menos intervenidos y con mayor abundancia de peces.

Después de las décadas del “boom” de la caña y cuando se comprendió que la mayoría de los suelos de esta zona de la Amazonia eran o son pobres y no aptos para cultivos con altas exigencias de nutrientes, es entonces donde se opta por utilizar esos mismos terrenos para cultivos como plátano, yuca, maíz y en última alternativa para sembríos de pasturas con proyección para la ganadería. Es así como para el año de 1980 ya con 30 viviendas ubicadas sobre el área de la confluencia de los dos ríos, se opta por la ganadería extensiva, terminando así grandes áreas de bosque nativo y reemplazándolo por pastizales que se extienden hasta la ribera en ambas márgenes de los ríos.

Con la incursión de esta nueva actividad, ganadería extensiva, aparece el aprovechamiento forestal, la cual permitió la comercialización de grandes cantidades de madera bajo ningún consentimiento de la ley, olvidando todos los aspectos de manejo y cuidado integral del ambiente.

Todas estos usos que se le han otorgado al recurso suelo y al recurso hídrico trajeron consigo impactos negativos importantes en la zona de estudio, los cuales ocasionaron cambios ambientales irreversibles, que con el paso del tiempo han incrementado la presión ambiental; es así como se observa la disminución de la frontera agrícola, residuos sólidos en grandes cantidades dispersos en toda el área de los ríos, disminución de los caudales por expansión de las fronteras agrícolas y poblacionales aguas arriba de los dos ríos, extracción de material de arrastre en varios sectores de los dos ríos, lo cual ha ocasionado la disminución y migración de algunas especies ícticas.

Mapa parlante del presente

Al interpretar lo expresado por los participantes a través de imágenes se puede concluir que estos ríos actualmente reflejan el acontecimiento histórico de lo sucedido, en gran parte por la deforestación, existiendo un empobrecimiento de la protección de las orillas de los ríos, disminución de fauna íctica, roedores nativos, entre otros.

Se resume entonces que, para la cabecera de la Confluencia, se ha talado todo un bosque nativo, escasamente existe bosque primario o bosque nativo muy intervenido; esto ha ocurrido con la finalidad de establecer cultivos de maíz, yuca, plátano, utilizando grandes volúmenes de fertilizantes puesto que los suelos son muy pobres y dada la topografía del área de estudio (pendientes entre 5 y 10%) cada vez que hay fuertes precipitaciones estos son inundados y lavados; existe una escasa protección de rastrojo bajo y muy poca presencia de bosque terciario.

Si observamos los mapas aguas abajo de la Confluencia (Figura 24), cuando los dos ríos toman el nombre de Sangoyaco, se encuentra un 80% de área utilizada para siembra de pasto y ganadería extensiva, los suelos de esta área únicamente permiten la siembra de grama, puesto que son muy pobres en nutrientes. Cuando se da un vistazo a lo retratado en el mapa se encuentra un gran problema ambiental en el margen izquierdo, cientos de vertimientos que, desde un área totalmente colonizada, se desprenden desde las viviendas ubicadas en los barrios Huasipanga, Progresos, Independencia hasta desembocar en la cuenca del río Mocoa.

Figura 24-4. Mapa parlante del presente



Fuente. Trabajo de campo

Para constatar en campo lo que los participantes de la actividad han denominado como la causa principal del mayor deterioro ambiental, se apoyó la actividad en un levantamiento topográfico que permitiera conocer el actual uso del suelo desde la confluencia de los ríos Sangoyaco y Taruca, alrededor de un área de 150 m² aproximadamente; como resultado de esta síntesis cartográfica se llegó a la elaboración de un mapa general (Figura 25).

Al desarrollar esta actividad se evidencia que los pobladores participantes de la actividad conocen muy bien cuál ha sido la evolución del área de estudio con respecto a cambios y deterioros ambientales, estas actividades se ilustran en el **Anexo 8**. El mapa nos muestra que el suelo que se encuentra alrededor de la intersección es utilizado para:

- Potrero con un perímetro aproximado de 4,527515 mts, donde se encuentran 3 viviendas y un área aproximada de 14,119025 m² la cual corresponde a 4 piscinas de cultivo de cachama.
- Bosque secundario muy intervenido con un perímetro aproximado de 45,053894 mts, donde también se encuentran 2 viviendas.
- Plátano y chontaduro con un perímetro aproximado de 6,074299 mts.
- Deforestación con un perímetro aproximado de 13,601397 mts.
- Piña con un perímetro aproximado de 2,266758 mts.
- Plátano con un perímetro aproximado de 1,431726 mts.
- Pasto Dalis con un perímetro aproximado de 74,298164 mts y
- Cultivo de caña con un perímetro aproximado de 3,650199 mts.

De esta manera y realizando una comparación con lo establecido en el uso del suelo del PBOT municipal (2008) se encuentra que aquella área que estaba destinada para protección de la cuenca alta del río Mocoa, donde circulan dos fuentes hídricas de gran importancia, los ríos Sangoyaco y Taruca han cambiado su vocación, por un uso totalmente agropecuario, ya que la mayoría de las actividades desarrolladas por los habitantes de esta zona son dirigidas a ese tipo, siendo ésta una de sus labores diarias como sustento de los hogares y de la vida diaria.

Figura 25-4. Mapa general del área y del uso del suelo



Este tipo de actividades no son contempladas como de alto impacto para la comunidad, ellos consideran que es su forma de subsistir, generar ingresos y mejorar la economía de sus hogares; así mismo cuando se realizó el levantamiento del uso del suelo de la zona se encontró otra gran problemática ambiental, que es la extracción de material de arrastre, la cual se realiza sin permisos ambientales y de una manera ilegal. Al verificar esta información en los mapas parlantes realizados no se encontró evidencia alguna de esta actividad minera.

En la tercera fase de la elaboración de cada uno de los mapas parlantes se contempla la socialización del mismo, es allí cuando se aborda el tema de minería ilegal y porque su ausencia en los mapas parlantes.

La comunidad considera que esta actividad no hace parte principal dentro de su economía, no se desarrolla siempre, únicamente cuando hay fuertes precipitaciones, realmente el impacto ambiental que se generan con los vertimientos directos sobre el cuerpo hídrico, desmejoran la calidad de vida de los mineros, puesto que han adquirido bastantes enfermedades a la piel por estar expuesto a aguas contaminadas con residuos sanitarios y grises provenientes de las viviendas aledañas. Esta actividad actualmente se realiza con la construcción de grandes piscinas que son construidas al borde de los cauces y se inundan cuando los cauces incrementan por las fuertes precipitaciones, esta extracción sin ninguna técnica disminuye en gran proporción la posibilidad de nacimiento, crecimiento y reproducción de las especies ícticas que se encuentren en el río.

Retomando la información contenida en el segundo mapa parlante (Figura 24), entra en discusión nuevamente la presencia de los vertimientos directos desde las viviendas hacia los ríos; para darle validez a los planteamientos que los participantes de la actividad mencionan como el mayor impacto generado sobre las fuentes hídricas se realiza un inventario de vertimientos aguas arriba y aguas abajo de la confluencia de los ríos Sangoyaco y Taruca (Figura 26).

Con el fin de conocer la magnitud de la problemática ambiental en la zona se realizó el inventario de vertimientos desde 200 m aguas arriba de la Confluencia y hasta la intersección del río Sangoyaco con el río Mocoa (alrededor de 3 kms), encontrando 120 puntos de vertimientos directos (puntos azules Figura 26). Entre el inicio del trayecto de estudio hasta llegar al punto denominado como Confluencia existen 40 puntos de descarga de aguas residuales domésticas, los cuales se realizan directamente desde las viviendas hasta los ríos en tubería negra lisa de 3

y 4" (Figura 27); también se encontró que de estos 40 puntos, 12 corresponden a cuatro casas, careciendo de una red principal que colecte las aguas y realice una sola entrega de las mismas.

Continuando el inventario aguas abajo se encuentran los otros 80 puntos, que presentan condiciones similares de vertimiento al ya denominado río Sangoyaco; así mismo en el sector de la plaza de mercado existe la entrega de las aguas residuales de dos pequeñas quebradas tributarias del río Sangoyaco, las cuales recogen y transportan aguas residuales tipo domestico de barrios aledaños.

De acuerdo con Mora (2012), el río Sangoyaco está conformado por dos tipos de paisaje en su extensión: el primero desde del puente donde inicia la Avenida Colombia hasta la desembocadura con el río Mocoa, presenta un paisaje altamente urbanizado en sus dos costados por asentamientos y algunos equipamientos fuertemente consolidados en el tiempo que se localizaron muy cerca al borde del río generando problemas ambientales y de salubridad. El segundo al occidente del mismo puente, caracterizado por tener el costado norte del río con una estructura urbana consolidada y el costado sur aun sin urbanizar donde predomina el paisaje natural pero altamente intervenido.

En los costados del río donde las construcciones están muy cercanas a este, se estipula una ronda hídrica de 15 metros de suelo de protección absoluta a partir del borde del río, para la recuperación de las características naturales y paisajísticas del mismo, pues al ser una zona con infraestructuras viales, dotacionales y edificaciones ya consolidadas, se considera prudente esta medida para no interferir y generar cambios bruscos en la estructura urbana existente y las interacciones sociales que se dan en ella.

Figura 26-4. Mapa de vertimientos en el área de estudio

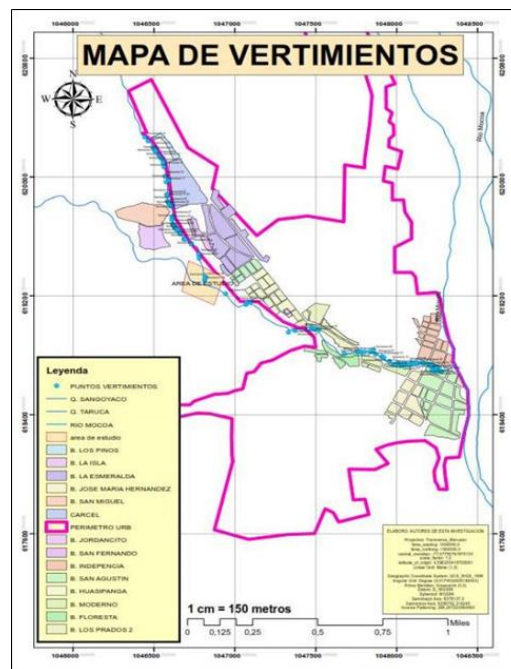


Figura 27-4 Vertimientos (detalles) en la zona de estudio



En la zona donde el borde urbano aún no ha sido invadido totalmente, se considera necesario mantener los 30 metros de ronda formulados en el PBOT del 2008, esto con el fin de conservar los rasgos ecológicos y naturales del río y sus zonas adyacentes.

En los últimos años la ciudad de Mocoa se ha sobrepuesto sobre el río Sangoyaco, aislándolo, dejándolo rezagado de la estructura urbana de la misma y alejándolo del imaginario de la

comunidad. Existen trece barrios que se encuentran al borde del río Sangoyaco. Estos no están conectados ni física ni visualmente con el río. El emplazamiento de estos barrios invadió en algunos sectores la totalidad de la ronda hídrica. Tal es el caso de los barrios al oriente de la ciudad. Aunque los barrios del occidente mantienen cierta distancia con el río, su crecimiento descontrolado se está aproximando hasta la invasión del borde del río. Todos los barrios le dan la espalda al río dejándolo como el patio trasero, como un espacio vacío olvidado y deteriorado; con esta definición se otorga validez a la teoría de los pobladores de esta zona que participaron en la elaboración del mapa parlante del presente, sin disminuir la responsabilidad a otros factores como la ampliación de la frontera agrícola y ganadera y el uso minero que desde hace algún tiempo se practica en esta área.

Mapa parlante del futuro

Se encuentran en este escenario futuro dos proyecciones totalmente diferentes (Figuras 28 y 29), las cuales se sesgan de acuerdo a la edad de los participantes; es así como un primer escenario futuro construido por los adultos y mayores muestran una expansión de la frontera poblacional sobre esta área, que traerá más habitantes y mayor parcelación de las áreas circundantes a los ríos Sangoyaco y Taruca; no solo se expandirán las poblaciones hacia esta área sino que también crecerá el municipio de Mocoa, agregando más vertimientos directos por el aumento de la demanda de servicios públicos y recursos sobre esta fuente hídrica.

Figura 28-4. Mapa parlante del futuro por adultos

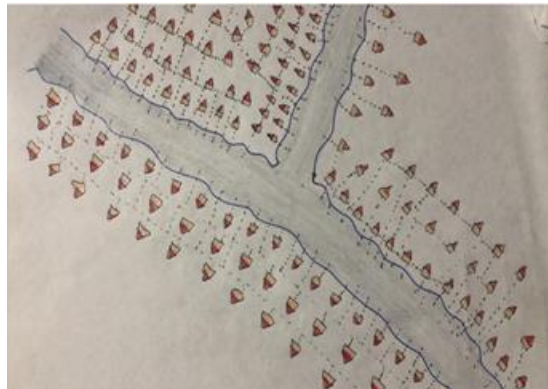


Fuente. Trabajo de campo

El aumento en la cobertura en el saneamiento básico no aumenta al ritmo necesario para contrarrestar los vertimientos domésticos a las fuentes de agua; el aumento de la actividad ganadera intensiva con alta dependencia de agroquímicos; el aumento de la actividad piscícola en los márgenes de los dos ríos y en su confluencia. La contaminación del agua aumenta debido a la falta de control sobre el uso de agroquímicos, el aumento de vertimientos directos y el incremento de minería.

Por otro lado un pensamiento construido por jóvenes y niños que muestra la necesidad de procesos de gestión que dan solución a los problemas del área de influencia de sus viviendas y que aplican a nivel del cuerpo hídrico, el escenario que lo denominamos optimista proyectan iniciativas de recuperación (Figura 29) a través de huertas caseras lo cual mejora las condiciones de soberanía alimentaria de las familias, inclusión en proyectos municipales que aumenten la cobertura de alcantarillados y pozos sépticos al 100%, implementación de programas de educativos enfocados a la sensibilización ambiental, y al uso sostenible de los recursos naturales, que incluyan minería, uso del suelo y recuperación del recurso hídrico y suelo.

Figura 29-4. Mapa parlante del futuro por jóvenes



Fuente. Trabajo de campo

Capacitaciones en la implementación de sistemas productivos mixtos, que mejore las condiciones de los pequeños productores y con menor dependencia a los agroquímicos. Inclusión en mecanismos de incentivos económicos para los pobladores que tengan predios para conservación y se fortalecen iniciativas de turismo enfocado a la cultura campesina y rural. Aumento a controles de las entidades públicas sobre los problemas de contaminación de las fuentes de agua, minería y deforestación del bosque.

5. DISCUSION

Calidad de aguas

Los dos pequeños ríos trabajados (Sangoyaco y Taruca) son de orden 2 y de pendiente ubicados en el piedemonte amazónico colombiano. Para la cuenca amazónica colombiana varios autores hablan de tipos de aguas o ambientes, los cuales se incluyen en la Tabla 17, comparando así nuestros resultados. Se puede decir que Sangocayo y Taruca son ríos de aguas transparentes del piedemonte; sin embargo, los mayores valores de STD indicados acá nos muestran que las partes alta de sus cuencas ya tienen importante transformación y afectación que eleva esta variable.

Tabla 17-5. Tipos de agua en la Amazonia colombiana y del presente estudio

		Duque et al (1997); Núñez-Avellaneda & Duque (2001)				Ricaurte & Núñez-Avellaneda (2015)	Plaza-Díaz & Núñez-Avellaneda (en prensa)
	Presente estudio	Aguas blancas I	Aguas Blancas II	Aguas Negras I	Aguas Negras II	Aguas transparentes del piedemonte	ríos Caquetá
pH	5,96	7,2 - 7,5	6,0 - 6,6	6,0 - 7,1	5,0 - 6,0	4,7 - 6,5	6,6
Cond $\mu\text{S}/\text{cm}$	14,1	120	dic-15	20 - 45	12,0 - 20	30	28,17
STD mg/l	745,83	156	56	40	20		19,45

Las condiciones ecológicas de los ríos de aguas transparentes del piedemonte se deben a la condición geológica de esta parte de la cordillera Andina por la presencia, en el sector de Caquetá - Bota Cauca - Putumayo del piedemonte amazónico, del macizo y batolito de Garzón de edad paleozoica - jurásica Kroonenberg (1982); Mojica et al (1988); Nuñez et al (1996) En un reciente trabajo en uno de los ríos que generó la afectación de la ciudad de Mocoa en el 2017 por la avenida fluvio Torrencial, en este caso el Mulato, se encontraron estas condiciones de tipo de agua (Duque et al 2018), que difieren, como se observa en la Tabla 17 de los otros tipos de aguas de la cuenca; incluso esta formación geológica es la causante de los tipos de agua blanca II que se observan en los ríos Caquetá y Putumayo (Duque et al 1997).

Los resultados de la calidad de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca y de su Confluencia, comparando con las normas nacionales nos indican que, solo los STD están por encima de la norma (ver Tabla 13). Y, que es el río Sangoyaco es el que produce los mayores valores para este parámetro por tanto el ACP marca la diferencia (Figura 15). Al utilizar el ICA, los tres sitios, o sea los dos ríos y la Confluencia da una condición “Naranja o mala” (ver Tabla 3 y Figura 16), lo que de todos modos contrasta con el análisis de los datos con las normas.

En la literatura científica es abundante la información sobre el uso de índices para definir en ríos sus condiciones ambientales o de trofía, utilizando diversos parámetros como vegetación acuática macro y microscópica Moreno et al (2006); valores de datos físicos y químicos para calcular por ejemplo el Water Quality Index (WQI); Barinova (2017); datos físicos, químicos y biológicos Montoya et al (2011) y hasta paquetes de computador para cálculos de calidad Fernández et al (2004).

En Colombia se ha vuelto frecuente la aplicación de esta herramienta del ICA desde finales del siglo pasado (Fernández et al 2003; Ramírez et al 1997 y Ramírez & Viña (1998). Sin embargo, han surgido varias críticas y comentarios a su utilidad que siempre vale la pena tener en cuenta Samboni-Ruiz et al (2007); Torres et al (2009). Para el presente estudio los pocos datos en el espacio y el tiempo son sin duda una debilidad para aplicar el ICA. Y en la ponderación de las variables los STD dan altos valores lo que marca el resultado reportado de mala calidad. En algunas regiones como Brasil, los índices son más complejos al incluir otros grupos de organismos (como las diatomeas; Lobo et al 2016), lo cual no se tuvo en cuenta acá.

El trabajo en Sangoyaco, Taruca y Confluencia es ahora comparado con otros estudios realizados en la región del piedemonte amazónico colombiano, es decir en la franja baja cordillerana en Colombia y Perú. En la Tabla 18 encontramos esta síntesis. Plata-Díaz, &, Nuñez-Avellaneda (2010).

Observamos que las condiciones de los tres puntos de trabajo son similares a otros estudios de los departamentos de Caquetá y Putumayo (en Colombia) y hasta de Perú. Y se refuerza otra vez que en el trabajo y en particular en el río Sangoyaco los valores de STD son demasiados altos a lo que se observa para la franja de estudio.

Es importante considerar que cuencas como las de Sangoyaco y Taruca al estar en áreas de montañas y con alta pendiente, tienen a modificar rápidamente sus condiciones producto de las

lluvias locales que les afectan directamente en sus caudales y velocidad de la corriente. Al ser ríos de segundo orden, las lluvias del sector ocasionan crecidas instantáneas del caudal y de la velocidad de la corriente, que luego va disminuyendo lentamente a medida que baja el agua de escorrentía Elosegui et al (2009). Los autores diferencian dos tipos de caudal, el basal que ocurre en momentos de no lluvias (que sería la época que llamamos de aguas baja). En esas crecidas es cuando el material transportado por la corriente y el caudal de “tormenta” producto de la lluvia del momento. Por ello este tipo de cuencas como Sangoyaco y Taruca y muchas de la región del piedemonte amazónico colombiano son muy torrenciales con crecidas repentinas. Elosegui et al (2009); Elosegui & Díez (2009).

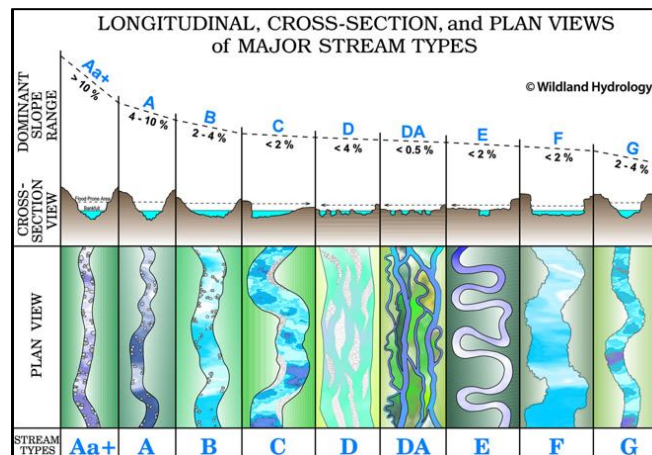
Tabla 18-5. Datos de algunos estudios de variables físicas, químicas y microbiológicas en ríos del Piedemonte amazónico colombiano y del mismo sector cordillerano en Perú

Variable	Amazonia colombiana							Amazonia Peruana			
	Presente estudio	Caquetá					Putumayo	Q. Gamitana	Q. Valencia	Q. Concepción	Q. San Juan
		Q. La Perdiz- Estación Gas País	Q. La Perdiz- Malvinas	Q. La Perdiz- Raicero	Q. La Perdiz- La Floresta	Sistemas lóticos del Caquetá	19 ríos y quebradas				
Cardona Soendra (2020)		235 msnm	220 msnm	214 msnm	211 msnm	varias altitudes	varias altitudes	181 msnm	155 msnm	176 msnm	177 msnm
		Manrique - Lozada & Peláez-Rodríguez (2010)				Sinchi inédito	Duque et al, 2012	Quispe Phocco (2015)		Pinto (2018)	
Temp °C	19,991	22,5	26	23	25	22,46	20,62	25	26,1	26,5	27
pH	5,968					6,60	7,36	6,6	6,9		
OD mg/l	7,462	10,2	4,3	8,4	8,35	8,36	4,8	6,5	6,1		
Cond µS/cm	14,108	13	27	26	26	28,17	44,53	39,3	44,9		
STD mg/l	745,833	10,6	22,2	21,4	21,4	59,40	15,95	28,0	31,5		
NO ₃ mg/l	1,407	0,009	0,0723	0,015	0,02	0,138	1,07				
NO ₂ mg/l	0,033	0,022	8,7	0,83	1,1	0,10	0,06				
PO ₄ mg/l	1,250					0,14	0,29				
DBO ₅ mg/l	2,730	5,6	48	28	30	4,00	3,97				
DQO mg/l	11,358	16	60	42	30	22,13	12,76				
CT NMP	1208,333	3275000	72500000		40500000	5316,00	1317,89				
CF NMP	208,333	952500	19500000		12825000	1252,00	618,53				

Los datos de STD de Sangoyaco nos permite mirar que este efecto “adverso” del alto material que transporta este río se debe a magnitud, intensidad y frecuencia de las lluvias, la heterogeneidad espacial del entramado fluvial aguas arriba del sitio de muestreo, el tipo de suelo y ante todo la cobertura vegetal Elosegui & Buttirini (2009). O sea que lo cambios en la carga de los STD no dependen totalmente de las lluvias y los caudales, aunque es la mejor manera de realizar una aproximación a las variaciones ocurridas. Algunos pocos datos de diferente momento (lluvia y sequía) o hábitats (rápidos y lentos) denotan que efectivamente en Sangoyaco durante las lluvias y en los rápidos se elevan los valores de STD (Figura 12b y Anexo 1).

El tramo del río Sangoyaco (y en algo Taruca) antes y más abajo de la zona de trabajo incluida la Confluencia de los dos, puede categorizarse como una sección longitudinal **Aa+** y **A** según Rosgen (1994); ver Figura 30. El primero en pendientes >10% y el segundo entre 4 y 10%. Estos dos perfiles o secciones son efectivos transportadores de todo tipo de materiales, como efectivamente lo demuestran nuestros datos, por ejemplo, para el río Sangoyaco. Ya habíamos comentado que la cuenca del Sangoyaco ha sido fuertemente transformada; En la discusión de mapas parlantes se detallará este aspecto.

Figura 30-4 Tipos de perfiles y secciones en ríos. Para Sangoyaco y Taruca se modela con Aa+ y A. Modificado de Rosgen (1994)



Un hecho extremo a este patrón suele ocurrir en algunas oportunidades y es lo que efectivamente sucedió la noche del 30 de abril y el 1 de mayo de 2017 cuando lluvias en la ciudad de Mocoa duraron varias horas y generaron la avenida fluvio torrencial (transporte de agua, lodo y rocas) que desbastó buena parte de la ciudad y generó la muerte y desaparición de cientos de personas y pérdidas enormes en infraestructura y viviendas. Este fenómeno fue muy bien estudiado para el río Mulato por Duque et al (2018), también ubicado en Mocoa, pero tanto el río Sangoyaco como Taruca estuvieron involucrados en este fenómeno global de destrucción.

En el siguiente capítulo analizaremos el posible efecto de los STD con el componente biológico.

Macroinvertebrados

Partiendo de las condiciones físicas del tramo y la cuenca estudiada, de su perfil y pendiente y de que ambos sistemas, junto con la Confluencia y en especial Sangoyaco tiene algunas veces

altos valores de STD, nos permite indicar que procesos físicos podrían ser fundamentales en primer orden al considerar interpretar lo macroinvertebrados encontrados. Varios estudios en Colombia demuestran que tanto la turbidez (que no se midió acá) como los STD afectan de manera directa a varios grupos de insectos acuáticos Giraldo et al 2014, Giraldo et al 2014; Gualdron 2016, entre otros). En el estudio de Meza-S et al (2012) al comparar sitios con o sin vegetación riparia, la riqueza de los macroinvertebrados es superior en la primera condición, en especial porque el tramo vegetado aporta hojarasca al cauce que permite mayor variedad de hábitats y biotopos y mayor variedad de macroinvertebrados. Algo parecido mostró Eyes-Escalante et al (2012) para un río del Norte de Colombia. En los sitios de trabajo en Mocoa la reducción de la vegetación podría ser uno de los efectos físicos sobre esta comunidad.

En el estudio en el Anexo 4 y Tabla 15 están los datos obtenidos en el estudio. Los diferentes grupos encontrados son típicos de pequeños sistemas de ríos y quebradas como lo anotan varios autores (Behar et al (1997; Roldan & Pérez, (2009); Eyes-Escalante et al (2012); Meza-S et al (2012); Gutierrez et al (2016); Cortés et al (2018); Durán et al (2018)); Para la Amazonia colombiana tenemos el trabajo más completo Serrato-Hurtado & Duque (2008) que muestran similar composición a la Tabla 15, incluso en otros grupos de macroinvertebrados diferentes a los insectos acuáticos como son Hirudinea, Gastrópoda y un grupo no citado por los autores pero si por este estudio como es Turbelaria. La importancia del estudio de Serrato-Hurtado & Duque (2008) obedece a que analizó información secundaria de 91 ecosistemas de los cuales 75 de ellos son ríos y arroyos y que cubren Caquetá, Putumayo y la Bota Caucana, es decir todo el piedemonte amazónico colombiano.

El otro gran estudio lo hacen Duque et al (2012) en 19 cuencas del Putumayo y de la misma manera encuentran los mismos grupos de insectos acuáticos que se referencian para este estudio (Tabla 15) además de otros nuevos macroinvertebrados Decápoda (camarones) y ácaros acuáticos.

Estos dos trabajos síntesis son concluyentes al decir que la calidad de los ríos, basados en estudios de macroinvertebrados, es mejor en los tramos más conservados o de partes altas de las cuencas y que tienden a disminuir drásticamente su calidad en los sectores más intervenidos que generalmente se presentan en las zonas bajas. Prat & Ward (1994, citado en Roldán 2003) comentan de estos cambios en los organismos.

Las condiciones ya comentadas en los ríos Sangoyaco y Taruca y la Confluencia generaron valores de BMWP (ver Tabla 20 y Anexo 5) que marcan aguas con problemas ambientales entre dudosa y crítica. Esto refuerza lo comentado antes del efecto de los aportes de los STD, en especial en Sangoyaco y la baja calidad medida por el ICA.

El análisis de correlación (Figura 20) indica que las abundancias de los macroinvertebrados están asociados a los incrementos de NO_2 , STD y pH. Por lo comentado antes, sin duda son los STD los principales causantes de esta correlación. Y, algunos grupos de insectos acuáticos como los Efemerópteros, Plecópteros y Tricópteros, aunque están presentes (Tabla 15), tienen abundancias intermedias y quizás sea uno de los factores que modifica el BMWP y sus valores encontrados. El hecho de hablar solo de estos tres tipos de insectos, que incluso tienen su propio índice (EPT), se debe a un mejor conocimiento de su ecología Roldan-Pérez (2016). Pero para los otros macroinvertebrados como los arriba comentados, es poco lo que se conoce de ellos y menos en Colombia; así lo concluye el autor. De dos de ellos (Odonata y Coleóptera) podríamos decir que son reconocidos por poseer una gran tolerancia a la contaminación Gil-Gómez (2014).

Duque et al (2012) lograron trabajar en tres sectores altitudinales: la alta montaña (Valle de Sibundoy), piedemonte amazónico y llanura amazónica denotando que en macroinvertebrados hay diferencias significativas en estos organismos entre las tres bioregiones. Por tanto cuando se hace comparaciones de este tipo y para el presente estudio, es recomendable solo realizarlo para sistemas de piedemonte amazónico.

Otros estudios de la amazonia colombiana y de la peruana indican valores de BMWP como se muestra en la tabla 19.

resultados similares al de este estudio sobre la reserva Forestal Laguna de Guatavita y cuchilla de peñas blancas, concluyendo que las actividades antrópicas (turismo, modificación del paisaje y vertimientos de agua residual), ha deteriorado el patrimonio ambiental y es recomendable frenar todo tipo de acciones que incidan directamente sobre esta área.

Mocoa, un municipio pequeño, con poca área optima (pendientes, estabilización, cercanía) para su crecimiento poblacional ha experimentado una altísima colonización de sus márgenes hídricas, con poca autoridad ambiental para la exigencia de conductas de respeto y responsabilidad ambiental; donde la misma naturaleza ha cobrado de manera altísima esta decisión.

Es de gran importancia realizar una mirada rápida al mapa del pasado, elaborado por los habitantes de las márgenes de estos ríos, quienes con gran precisión definen unas fechas de impacto ambiental y social sobre las márgenes de los ríos; eventos que se presentan desde el año 1958 con una periodicidad cada vez menor y que por lo descrito anteriormente son más fuertes y causan más impacto, es así como aunque en el presente estudio no se incluyó el evento fluvio torrencial del año 2017; los pobladores saben y medianamente están preparados para que esto continúe ocurriendo, soportados en la falta de planificación, ausencia de un Plan Básico de ordenamiento Territorial (PBOT) que obligue a un crecimiento responsable y a una pronta recuperación de las márgenes hídricas. Este mapa permitió también evidenciar como a mediados de 1950 las márgenes de los ríos Sangoyaco y Taruca cobraban una principal importancia para actividades de caza, pesca y recreación; y como se ha modificado estos usos a través del tiempo; Racero-Casarrubia et al (2008) describe en su investigación con las comunidades indígenas Embera-Katíos como lograron obtener información acerca de zonas de caza, sitios de refugio, reproducción, especies nativas entre otras a través de la utilización de herramientas de diagnóstico participativo (mapas parlantes).

6. Conclusiones

El índice de BMWP/Col. correspondió en su mayoría a aguas moderadamente contaminadas. Se evidenció que los cuerpos de agua presentan características físicas, químicas y microbiológicas que limitan el establecimiento (crecimiento y reproducción) de algunos organismos con requerimientos ecológicos más específicos.

El oxígeno disuelto presentó concentraciones normales. Este valor se asocia con la geografía del terreno (pendientes elevadas) que permiten el intercambio en cada golpeo, así como la temperatura que aumenta o reduce el potencial de ciertas sustancias químicas, reduciendo o aumentando la concentración de oxígeno del agua.

Los altos niveles de coliformes fecales indican la falta de ordenamiento territorial y ambiental, que permite que un sin número de viviendas ubicadas sobre las márgenes de los ríos disponga de manera directa sus vertimientos de aguas residuales. Además, soporta la afirmación respecto a que gran parte del agua de los ríos no solo de la zona de estudio sino de Colombia no es apta para consumo humano ni para el desarrollo de otras actividades (recreativas, de turismo, pesca, entre otras).

La diversidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos es impactada por el efecto antropogénico, principalmente por los vertimientos puntuales de aguas residuales a causa de los asentamientos urbanos a lo largo de los ríos Sangoyaco y Taruca, evidenciado en la abundancia de macroinvertebrados en algunos puntos de monitoreo, de acuerdo a la época (lluvia - seco) y a las características de la zona (rápidos y lentos); esto sugiere que la carga residual vertida a estos cauces, no solo representa problemas de salud pública, sino que a nivel ecológico limitan la disponibilidad y diversidad de hábitats para el establecimiento de la fauna acuática.

Los mapas parlantes se convierten en una herramienta muy funcional para el trabajo con la comunidad; inician con el levantamiento de información pasada que es sumamente importante para conocer los comportamientos cíclicos o no de los cuerpos hídricos; en el caso de los ríos Sangoyaco y Taruca permite predecir los impactos sociales y ambientales que pueden

presentarse si la situación de colonización de las márgenes hídricas continua con el crecimiento que ahora lo hace.

La expansión urbana, el desordenado y acelerado crecimiento, y la falta de planeación demuestran la afectación que genera el hombre sobre los ecosistemas.

Eventos históricos ambientales sobre estos cuerpos hídricos han marcado la historia ambiental y social del municipio de Mocoa.

Lo que se evidenció en esta investigación no es igual a lo que esta ocurriendo al día de hoy por el evento ocurrido en 2017. Donde totalmente transformados, alterados y modificados todos los sistemas fluviales de la ciudad de Mocoa, en especial el río Sangoyaco y la taruca que hicieron parte de la tragedia.

Las diferentes técnicas de investigación utilizadas, que incluyeron Físicoquímicos – ICA – Macroinvertebrados BMWP y cartografía social coinciden que el Río Sangoyaco presenta mayor afectación antrópica.

EL desordenado y acelerado crecimiento del Municipio de Mocoa paralelo a sus rondas hídricas a generado un impacto ambiental irreversible en los ríos Taruca y Sangoyaco.

La línea de tiempo trazada sobre estos dos ríos a modificado las líneas de expansión del municipio.

El análisis de correlación muestra que hay una estrecha diferencia entre los impactos sobre una cuenca y la otra, mostrando como Río Sangoyaco actúa de manera muy negativa sobre Río Taruca.

Anexos

Anexo 1. Datos Originales físicos y químicos de las aguas de los ríos Sangoyaco y Taruca.

Tabla Datos FQ y de coliformes Q. La Taruca arriba confluencia						
Variables	cambio período /sitio	Unidad	Lluvias		Sequía	
			Arriba rápidos	Arriba Lento	Arriba rápidos	Arriba Lento
Temperatura	↑S / L	°C	19,5	20	20,11	21,1
pH	igual		5,94	5,9	5,94	5,95
OD	↑LL /R	mg/l	8,1	7,95	7,38	6,95
Conductividad	↑LL /L	μS/cm	14,94	15,08	13,8	14,04
STD	↑LL / R	mg/l	701	523	254	201
Nitratos	↑S / L	mg/l	1,17	1,51	0,98	2,05
Nitritos	↑S / L	mg/l	0,03	0,02	0,02	0,04
Fosfatos	↑S / L	mg/l	1,7	1,2	1	3,4
DBO ₅	↑LL / R	mg/l	6,01	0,72	0,01	2,17
DQO	↑S / R	mg/l	10	10	>10	<10
Coliformes totales	igual	UFC	>1000,00	>1000,00	>1100,00	>1000,00
Coliformes fecales	↑LL	UFC	200	200	100	100

cambio LL= luvia y S= Sequía. R= Rapido y L Lento

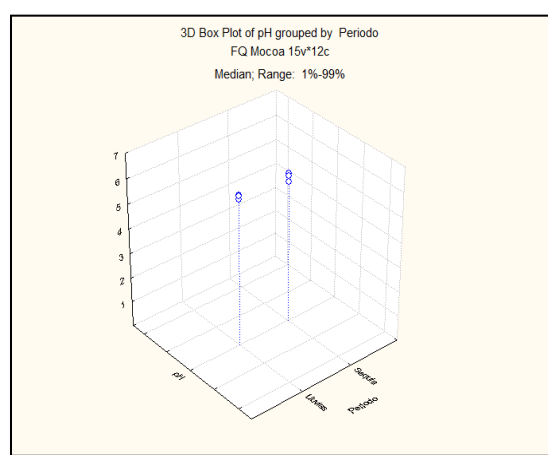
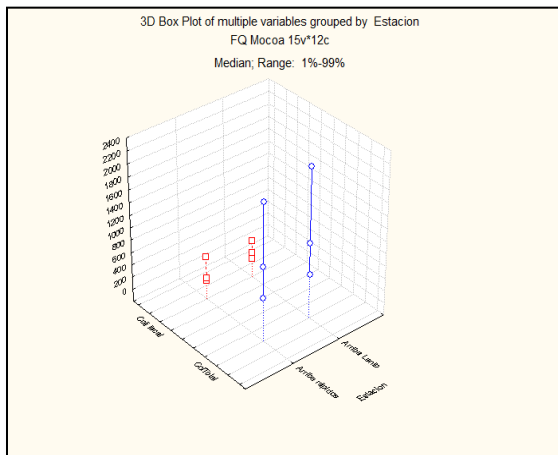
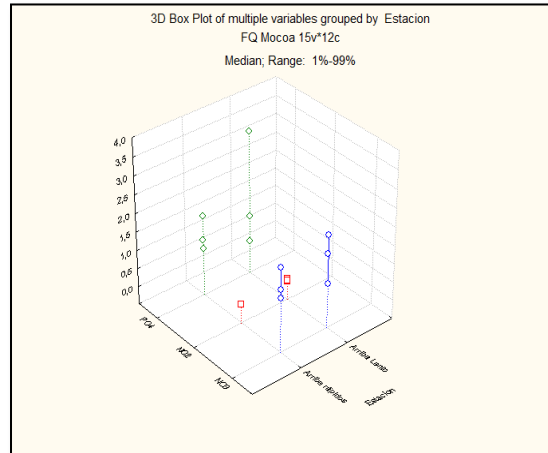
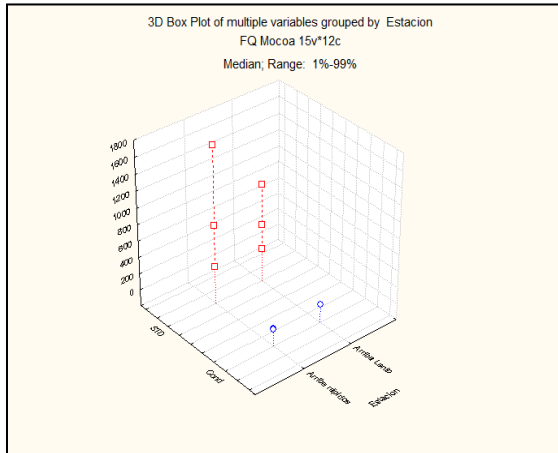
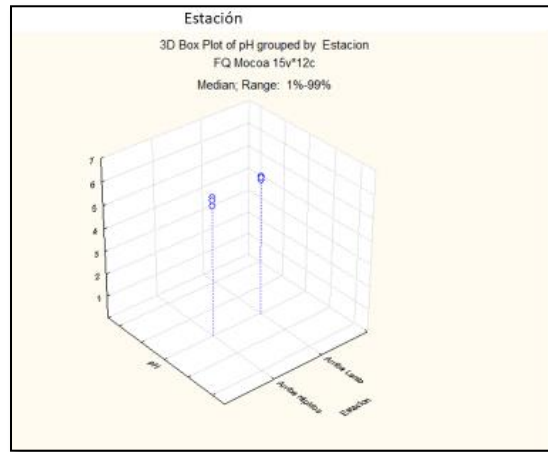
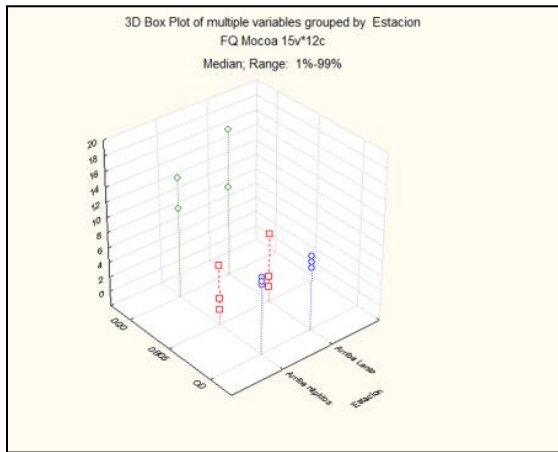
Tabla Datos FQ y de coliformes del Río Sangoyaco arriba confluencia						
Variables	cambio período /sitio	Unidad	Lluvias		Sequía	
			Arriba rápidos	Arriba Lento	Arriba rápidos	Arriba Lento
Temperatura	↑S / R	°C	19	18,2	21	19,5
pH	↑LL / R		6,09	6,06	5,91	5,98
OD	↑LL / R	mg/l	8,01	7,36	7,38	6,36
Conductividad	↑LL / L	μS/cm	14,9	15	12,93	13
STD	↑LL / R	mg/l	1620	734	638	498
Nitratos	↑S / L	mg/l	1,27	1,55	1,82	2,01
Nitritos	igual	mg/l	0,02	0,03	0,02	0,03
Fosfatos	↑LL / L	mg/l	0,8	1,5	1,05	0,98
DBO ₅	↑S / L	mg/l	5,92	6,5	2,19	7,22
DQO	↑S / L	mg/l	10	14,1	14,1	17,6
Coliformes totales	↑S / L	UFC	>2000,00	>2000,00	>1800,00	>2200,00
Coliformes fecales	↑LL / R	UFC	500	400	100	200

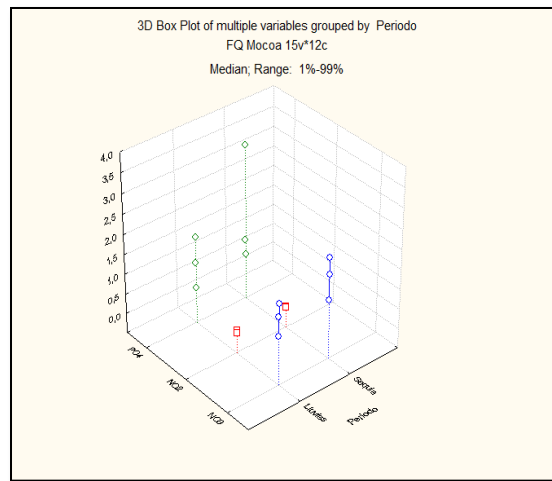
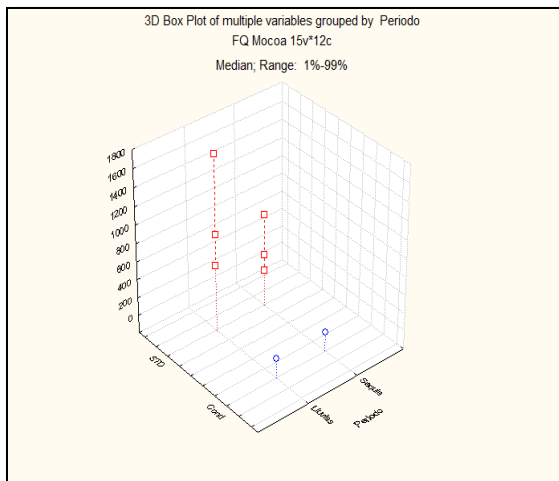
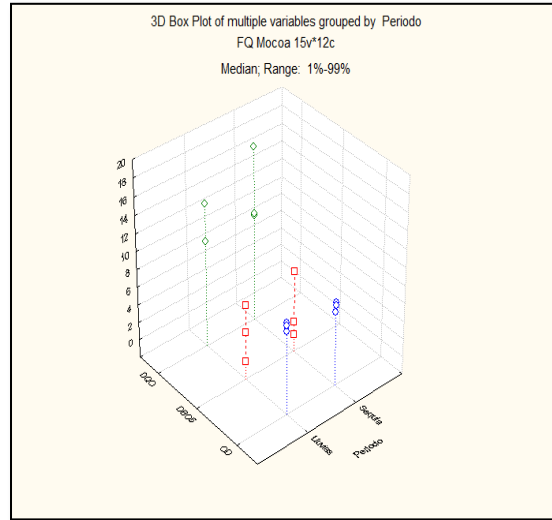
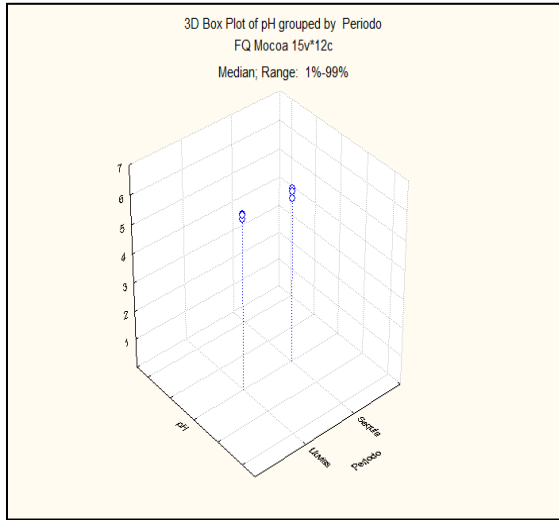
cambio LL= luvia y S= Sequía. R= Rapido y L Lento

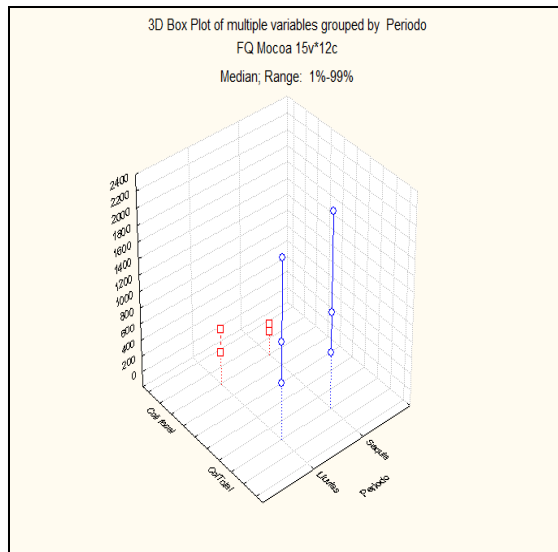
Tabla Datos FQ y de coliformes confluencia						
Variables	cambio período /sitio	Unidad	Lluvias		Sequía	
			Arriba rápidos	Arriba Lento	Arriba rápidos	Arriba Lento
Temperatura	↑S / L	°C	19,7	20,08	21	20,7
pH	↑S / L		6,01	6,09	5,7	6,05
OD	↑LL / R	mg/l	8,25	7,8	7,25	6,75
Conductividad	↑LL / L	μS/cm	14,24	14,6	13,24	13,52
STD	↑LL / R	mg/l	1723	1002	824	232
Nitratos	↑S / R	mg/l	1,08	0,73	1,44	1,27
Nitritos	↑LL / L	mg/l	0,02	0,09	0,03	0,04
Fosfatos	↑LL / R	mg/l	0,9	0,4	1,41	0,66
DBO ₅	↑LL / R	mg/l	0,87	0,01	0,57	0,57
DQO	↑S / R	mg/l	<10	<10	10,5	<10
Coliformes totales	↑S / L	UFC	>500,00	>500,00	>500,00	>1000,00
Coliformes fecales	igual	UFC	200	200	100	200

cambio LL= luvia y S= Sequía. R= Rapido y L Lento

Anexo 2. Figuras (tipo cajas y bigotes) para épocas de muestreo (lluvia y sequía) y para hábitats (rápidos y lentos).

















Anexo 3. Tabla de Componentes Principales

Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics (FQ Mocoa) Active variables only				
	Eigenvalue	% Total - variance	Cumulative - Eigenvalue	Cumulative - %
1	4,040446	33,67038	4,04045	33,6704
2	3,633869	30,28224	7,67431	63,9526
3	1,496116	12,46763	9,17043	76,4203
4	1,198830	9,99025	10,36926	86,4105
5	0,539129	4,49274	10,90839	90,9032
6	0,443576	3,69647	11,35196	94,5997
7	0,242774	2,02312	11,59474	96,6228
8	0,197045	1,64204	11,79178	98,2649
9	0,151160	1,25967	11,94294	99,5245
10	0,051918	0,43265	11,99486	99,9572
11	0,005137	0,04281	12,00000	100,0000

Anexo 4. Datos biológicos originales del estudio

LUGAR EPOCA	Taruca		Sangoyaco		Confluencia		Taruca		Sangoyaco		Confluencia		TOTAL
	Lluvia		Lluvia		Lluvia		Seco		Seco		Seco		
	RAPIDO	LENTO	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	RAPIDOS	LENTOS	
Trichoptera	325	175		175		350				175		300	1500
	0	0		0		0		75	75	0		0	150
	0	0		0		0	175	175	0	0		0	350
Diptera	0	0	0	0	900	0	0	0	0	0	0	0	900
	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	150
Odonata	100	175	0	0	0	350	0	150	0	0	0	0	775
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	400
	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
Ephemeroptera	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
	0	0	0	0	350	0	0	0	0	175	0	0	1225
	0	0	0	175	0	0	0	200	175	0	0	0	550
Coleoptera	0	225	0	0	0	0	0	225	0	0	0	0	450
	0	0	175	0	0	0	0	0	0	175	0	0	350
	0	150	0	0	0	0	0	150	0	0	900	300	1500
	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0	0	0	175
	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250
Lepidoptera	0	0	0	0	0	0	125	0	0	0	0	0	125
Megaloptera	0	0	0	150	0	150	0	0	0	150	0	0	450
Plecoptera	0	0	0	0	0	800	0	0	0	250	0	400	1450
Hemiptera	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125
	0	0	0	175	0	0	0	0	0	0	0	0	175
Tricladida	0	0	200	200	350	0	0	0	0	0	0	0	750
	175	175	0	0	0	0	0	0	175	0	0	0	525
Basommatophora	0	100	0	100	0	300	100	100	0	0	700	0	1400
Mesodastopoda	0	0	0	225	0	0	0	0	0	0	0	0	225
Glossiphoniiformes	0		0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	75

Anexo 5. Registro fotográfico de los individuos catalogados dentro de las aguas moderadamente contaminadas - representadas de color amarillo

 <p>Familia: Elmidae Puntos de colecta: RTLL, RTS, RCS</p>	 <p>Familia: Scirtidae Puntos de colecta: RTS</p>	 <p>Familia: Dryopidae Puntos de colecta: RSS</p>
<p>Clase: Insecta – Orden: Coleóptera</p>		
 <p>Familia: Hydropsychidae Puntos de colecta: RTLL, RCLL, RSLL, RCS, RSS</p>	 <p>Familia: Elmidae Puntos de colecta: RTLL, RTS, RCS</p>	
<p>Clase: Insecta – Orden: Trichoptera</p>	<p>Clase: Insecta – Orden: Coleóptera</p>	
 <p>Familia: Corydalidae Puntos de colecta: RCLL, RSLL, RSS</p>	 <p>Familia: Hydropsychidae Puntos de colecta: RTLL, RCLL, RSLL, RCS, RSS</p>	
<p>Clase: Insecta - Orden: Odonata</p>	<p>Clase: Insecta – Orden: Plecóptera</p>	
 <p>Familia: Calopterygidae Puntos de colecta: RTLL, RCLL, RTS.</p>	 <p>Familia: Gomphidae Puntos de colecta: RCS</p>	 <p>Familia: Libellulidae Puntos de colecta: RTLL</p>
<p>Clase: Insecta – Orden: Megalóptera</p>		



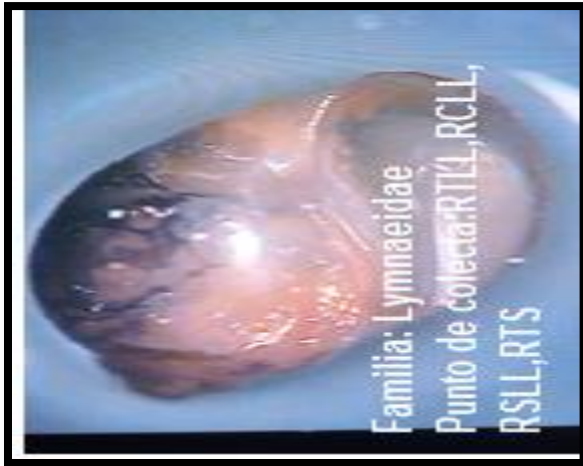
Clase: Insecta – Orden: Hemiptera



Clase: Insecta – Orden: Ephemeroptera



Clase: Insecta – Orden: Díptera









Clase: Gastrópoda – Orden: Basommatophora

Clase: Gastrópoda – Orden: Medogastropoda



Clase: Turbellaria – Orden: Tricladida

Anexo 6.Registro fotográfico de los individuos catalogados dentro de las aguas moderadamente contaminadas - representadas de color amarillo

 <p>Familia:Hydropsychidae Punto de colecta: RTLL</p>	 <p>Familia: Pyralidae Puntos de colecta: RTS</p>
<p>Clase: Insecta. Orden: Trichoptera</p>	<p>Clase: Gastrópoda – Orden: Basommatophora</p>
 <p>Familia: Calopterygidae Punto de colecta: RTLL</p>	 <p>Familia: Coenagrionidae Punto de colecta: RTLL</p>
<p>Clase: Insecta – Orden: Odonata</p>	
 <p>Familia: Leptohyphidae Punto de colecta: RCLL</p>	 <p>Familia: Baetidae Punto de colecta: RSS</p>
<p>Clase: Insecta – Orden: hemiptera</p>	



Clase: Insecta – Orden: Ephemeroptera



Clase: Insecta - Díptera



Clase: Insecta - Orden: Coleóptera








Clase: Insecta – Orden: Lepidóptera



Clase: Hirudinea – Orden: glossiphoniiformes




Anexo 7. Registro fotográfico de los individuos catalogados dentro de la categoría aceptable, aguas ligeramente contaminadas - representadas de color verde



<p>Clase: Insecta – Orden: Hemiptera</p>	
 <p>Familia: Baetidae Puntos de colecta: RSL, RTS, RSS</p>	 <p>Familia: Leptophlebiidae Punto de colecta: RCS</p>
 <p>Familia: Leptohipidae Puntos de colecta: RCL, RSS</p>	
<p>Clase: Insecta – Orden: Ephemeroptera</p>	
 <p>Familia: Psychodidae Punto de colecta: RTS</p>	 <p>Familia: Ceratopogonidae Punto de colecta: RTS</p>
<p>Clase: Insecta – Orden: Díptera</p>	
 <p>Familia: Psychodidae Punto de colecta: RTS</p>	 <p>Familia: Corydalidae Puntos de colecta: RCL, RSL, RSS</p>
<p>Clase: Insecta – Orden: Díptera</p>	<p>Clase: Insecta – Orden: Odonata</p>

Anexo 8. Usos del suelo, en los ríos sangoyaco, taruca y confluencia

DESCRIPCION	REGISTRO
Deforestación hasta las riberas del río Sangoyaco; la imagen evidencia la deforestación por la frontera agrícola.	
Establecimiento de cultivo de maíz.	
Deforestación para la ampliación de la frontera agrícola.	

<p>Aprovechamiento agrícola en la utilización de cultivo de caña.</p>	
<p>Aprovechamiento agrícola en la utilización de cultivo de piña.</p>	
<p>Aprovechamiento agrícola en la utilización de cultivo de plátano y chiro.</p>	

<p>Aprovechamiento agrícola en la utilización de cultivo de yuca.</p>	
<p>Aprovechamiento del recurso en el uso de la actividad piscícola.</p>	
<p>Aprovechamiento del uso del recurso en la utilización de pasturas para ganadería.</p>	

Aprovechamiento del recurso en la utilización de espacio para potreros.



Bibliografía

- Acosta, R., Ríos, B., Rivadeneira, M., & Narcis, P. (2009). *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*. Limnética.
- Aguilera, G., & Pouilly, M. (2012). *Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina*. Acta zoológica lilloana.
- Alcaldía Municipio Mocoa. (2016). *Plan de Ordenamiento Territorial PBOT*. Mocoa: Alcaldía .
- Barinova, S. (2017). On the Classification of Water Quality from an Ecological Point of View. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 01-08.
- Behar, R., Zúñiga de cardozo, M., & Rojas. (1997). "Análisis y Valoración del Índice de Calidad de Agua (ica) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez". *Ingeniería y competitividad*, 17-27.
- Botero, L. S. (1982). *La cuenca hidrográfica y el desarrollo regional*. División de recursos. Medellín.
- Cantera, J., Carvajal, y., & castro, I. (2009). *Caudal Ambiental: Conceptos, experiencias y desafíos*. Santiago de cali, colombia: Universidad del Valle.
- CONPES, 3. (2017). *PLAN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL MUNICIPIO DE MOCOA, 2017-2022*,. Santa Fé de Bogotá: Presidencia de la República.
- Cortés cadena, Y., Hernández Acosta, L., & Peláez Rodriguez, M. (2018). Calidad del agua de la quebrada la Yuca en el campus social de la Universidad de la Amazónica, Florencia (Caquetá). *Momentos de ciencia*, 23-45.
- Derisio, J. C. (2007). *Introdução ao controle de poluição ambiental*. São Paulo: 3 ed. rev. ampl.
- Diez Hernández, J. M. (2010). *Determinacion de caudales Ecológicos; Metodología IFIM-PHABSIM*. Santiago de Cali.
- Duque, S., Torres, N., Arteaga, F., Fajardo, D., Coral, A., & Vallejo, M. (2012). Macroinvertebrados acuáticos asociados a las Microcuencas con manejo de agroforestería Sustentable en la Amazonía Colombiana. En D. Fajardo, L. Naranjo, & I. & Niño, *Manejo Integral de cuencas hidrográficas a través del uso de agroforestería sustentable en la Amazonía Colombiana* (págs. 91-108). Cali: Corpoamazonia y WWF.

- Duque, S. R., Dulcey, C. L., Acero, J. S., Pulido, O. L., Restrepo, D., Jiménez, E. M., . . . & Vargas, L. Y. (2018). *Acotamiento de la ronda hídrica del río Mulato la zona urbana del municipio de Mocoa, departamento del Putumayo*. Leticia: Un sede Amazonia & Corpoamazonía.
- Durán Bautista, E., Rodríguez Suárez, L., & Suárez Salazar, J. (2018). Relación entre macroinvertebrados y propiedades del suelo bajo diferentes arreglos agroforestales en la Amazonía- Andina, Caquetá Colombia. *Acta Agronómica Vol 67*, 395-401.
- Elosegi, A., & Díez, J. (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. En A. Elosegi, & S. Sabater, *La estructura física de los cauces fluviales* (págs. 71-84). España: Fundación BBVA.
- Elosegi, A., & Sabater, S. (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. En A. Elosegi, & A. Butturini, *Transporte de los materiales orgánicos disueltos y particulados* (págs. 85 - 96). España: Fundación BBVA.
- Elosegui, A., Butturini, A., & Armengol, J. (2009). *Conceptos y Técnicas en ecología fluvial*. España: Fundación BBVA.
- Eyes-Escalante, M., Rodríguez-Barrios, J., & Gutiérrez-Moreno, L. C. (2012). Descomposición de la hojarasca y su relación con los macroinvertebrados acuáticos del río Gaira (Santa Marta - Colombia). *REDALYC*, 77-92.
- FAO. (2012). *Tejiendo el canasto de la vida -Guía Metodológica para la construcción colectiva de los planes integrales de vida de los pueblos indígenas de Colombia*. Santa Fé de Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Fernández, N., Ramírez, A., & Solano, F. (2003). *Índices fisicoquímicos de Calidad del agua, un estudio comparativo*. Cinara: Univesidad del Valle. análisis y valoración de la calidad del agua. *BISTUA*, 88-97.
- Gil-Gómez, J. A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Gualdron Durán, L. E. (2016). *Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos*. Bogotá: Universidad Libre.
- Gutierrez, Garaviz, J., Peláez Rodriguez, M., & Ovalle Serrano, H. (2016). Macroinvertebrados acuáticos presentes en dietas de peces de la cuenca del río Hacha (Caquetá - Colombia). *Revista de la academia Colombiana de ciencias exáctas, físicas y Naturales*, 420-432.
- IDEADE. (1992). *Diagnóstico regional integrado de las provincias de Norte y Gutierrez (Boyacá)*. Santa Fé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- IDEAM. (5 de Agosto de 2012). Proceso metodológico y aplicación para la definición de la estructura ecológica nacional: énfasis en servicios ecosistémicos - escala 1:500.000, Bogotá. *Proceso metodológico y aplicación para la definición de la estructura ecológica*

- nacio-nal: énfasis en servicios ecosistémicos - escala 1:500.000, Bogotá. Bogotá, Bogotá, Colombia.*
- IDEAM, I. (2017). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. Santa Fé de Bogotá: IDEAM.
- IDEAM, I. (2017). *Protocolo de monitoreo del agua*. Santa fé de Bogotá: IDEAM.
- ILLIES, J. (1961). Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und. *ResearchGate*, 205-213.
- Impactos del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río la Vieja. (2014). *Biología Tropical*, 1-22.
- Jojoa Chantre, O. (2003). *Análisis de amenazas y vulnerabilidad geológica en la cuenca de la Quebrada Taruca y Sangoyaco para el área rural, suburbana y urbana de la población de Mmocoa, Departamento del Putumayo*. Mocoa: Corpoamazonia.
- Kroonenberg, S. B. (1982). *Lotología, metamorfismo y origen de las granulitas del macizo de Garzón, cordillera oriental (Colombia)*. Santa Fé de Bogotá: Geología Norandina.
- Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Dupont, A., Da Costa, A. B., Wetzel, C. E., & Ector, L. (2016). *Índice trófico de qualidade da água*. Santa Cruz do Sul, Brasil: EDUNISC.
- López Erazo, I., & Peláez Rodríguez, M. (2012). Aplicación de índices bióticos para la evaluación de la calidad del agua de un río andino Amazónico. *Momentos de ciencia - Universidad de la Amazonía*, 1-7.
- López, J., & Hernández, E. (1972). *Manejo integral de cuencas hidrográficas (aspectos. Venezuela - Mérida: Universidad de los Andes.*
- Manrique - Losada, & Peláez - Rodriguez. (2010). *Evaluación de la calidad del agua de la quebrada la Perdiz, en el área urbana de Florencia, Caquetá Colombia*. Florencia: Universidad de la Amazonía.
- Meyer, J., Paul, M., & Taulbee, W. (2005). *Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. Journal of the North American Benthological Society*. JK.
- Meza-S, A. M., & Rubio-M, J. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. En *Macroinvertebrados acuáticos del río Chinchiná* (págs. 443-456). Caldasia: ICN UNAL.
- Mojica, J., Villaroel, C., & Bayer, K. (1988). *Afloramiento del paleozoico superior en el macizo de Garzón (Cordillera Oriental) y el valle superior del Magdalena, Colombia*. Santa fé de Bogotá: Geología Colombiana.
- Monsalve Saenz, G. (1995). *Hidrología en la ingeniería*. Santa Fé de Bogotá: Bogotá Educativa.
- Montoya, Y. M., Acosta, Y., & Zuluaga, E. (2011). Evolución de la calidad del agua en el Río negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el

- BMWP/COL y el ASPT. En *Evolución de la calidad del agua en el río Negro*. (págs. 193-210). Caldasia: ICN UNAL.
- Moreno, J. L., Navarro, C., & De las Heras, J. (2006). Propuesta de un índice de vegetación acuática (IVAM) para la evaluación del estado trófico de los ríos de Castilla-La Mancha: Comparación con otros índices bióticos. En A. E. Limnología, *Limnética* (págs. 821 - 838). Madrid: Centro de Estudios del Agua.
- Mosquera guerra, F. (2016). Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Caquetá. *Momentos de ciencia*, 18-24.
- Negret, E. (1982). *Un modelo de manejo integrado para cuencas hidrográficas*. Ministerio. Medellín.
- Núñez, A., Bocanegra, A., & Gómez, J. (1996). *Los plutones jurásicos del valle superior del Magdalena (Colombia)*. Ibagué: INGEOMINAS.
- Pennak, R. (1978). *Freshwater Invertebrates of the united States*. New York: Wiley Interscience 2nd Edit.
- Plata-Díaz, Y., & M., & Nuñez-Avellaneda. (2010). *Caracterización fisicoquímica de humedales de la Amazonía Colombiana e indicadores de eutrofización*. Santa Fé de Bogotá: Instituto SINCHI.
- Quiroga, R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*, . Santiago de Chile: Naciones Unidas - CEPAL.
- Ramírez, A., & Viña, G. (1998). Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y Estadísticas de Análisis. *Universidad Jorge Tadeo Lozano*, Bogotá.
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña. (1997). cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 135-153.
- Ricaurte, L. F.; Nuñez - Avellaneda, M; Pinilla, M. C.; Marín , C. A.; Velásquez - Valencia, A; Alonso, J. C.; Mojica, J. I.; Betancourt, B; Salazar, C; Caicedo, D; Acosta - Santos, A; Castro, W.; Argüelles, J H;. (2015). *Inventario y tipificación de humedales en la cuenca del río Orteguzza, Departamento del Caquetá, Amazonia colombiana*. Bogotá : SINCHI.
- Rizopoulos, D. (2006). *An R Package for latent variable modelling and item response theory analyses*. New york: Journal of statistical software.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Fondo FEN - Colombia. Bogotá, Colombia: Presencia Ltda.
- Roldan, G., & Pérez. (2009). Desarrollo de la Limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidades biológicas*, 1-11.
- Roldan, P. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, uso del método BMWP/Col*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

- Roldan-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Academia Colombiana de ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 254-274.
- Rosgen, D. L. (1994). A classification of natural rivers. En *Hydrology, I Steven's lake road, pagosa* (págs. 1-131). Springs USA: Elsevier Science.
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación Vol 27 No 3.*, 172-181.
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., & Reyes, A. (2011). *Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta*. Bogota: Ingeniería y competitividad.
- Sánchez, S. F. (1995). *Una aproximación al proceso de planificación de cuencas Hidrográficas*. Ibagué: Universidad del Tolima.
- Schonhuth, M., & y Kievelitz, U. (1994). *Diagnóstico rural rápido, Diagnóstico Rural Participativo, Métodos participativos de diagnóstico y planificación al desarrollo, Una introducción comentada*. Alemania: GTZ Postfach.
- Segura, T. L. (2007). *Estudio de Antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia*. Santa fé de Bogotá: Escuela Superior de Administración Pública.
- Serrato-Hurtado, C., & Duque, S. R. (2008). *Calidad de las aguas de sistemas de la Amazonía andina colombiana, a través de la bioindicación con macroinvertebrados acuáticos*. Leticia: Imani.
- Serrato-Hurtado, & Duque, S. (2008). *Calidad de las aguas de sistemas de la Amazonía andina colombiana, a través de la bioindicación con macroinvertebrados acuáticos*. Leticia: Imani.
- SINCHI, I. (2012). *Zonificación ambiental y ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonía, creada mediante la Ley 2da de 1959, en los departamentos de Putumayo, Cauca, Nariño y Meta*. Bogota: GIAZT.
- STRAHLER, A., & STRAHLER, A. (1994). *Geografía Física*. Barcelona: Omega.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín.*, 79-94.
- TUNDISI, J. G., & TUNDISI-MATSUMURA, T. (2008). *Limnología*. Sao Paulo: Oficina de textos.
- Vannote, G., Wayne, M., Kenneth, W., Cummins, J., Sedell, C., Cushing, & Robin, L. (1980). Canadian journal of Fisheries and Aquatic Sciences. *Revista Canadiense de pesca y ciencias acuáticas*, 130-137.
- Zalewski, M., Janauer, G., & Jolánkai, G. (1997). *Ecohidrología: un nuevo paradigma para el uso sostenible de los recursos acuáticos*. París: UNESCO.