

EVALUACIÓN DE FACTORES SOCIOAMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LA
CALIDAD Y ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UNA DE LAS MICROCUENCAS
APORTANTES DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL DE SUAREZ-CAUCA COLOMBIA.

FERNANDO NAVIA HERNÁNDEZ

Código estudiantil: 104911010920

WILSON CHANDILLO CHANTRE

Código estudiantil: 104911024680

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN, CAUCA

2018

EVALUACIÓN DE FACTORES SOCIOAMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LA
CALIDAD Y ABASTECIMIENTO DE AGUA DE UNA DE LAS MICROCUENCAS
APORTANTES DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL DE SUAREZ-CAUCA COLOMBIA.

FERNANDO NAVIA HERNÁNDEZ
WILSON CHANDILLO CHANTRE

Trabajo de grado en modalidad de investigación para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Directora

Ph.D Nazly Efredis Sánchez Peña
Departamento de Ingeniería Ambiental

Asesora externa

M. en C. Daniela Ávila García
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
CÁTEDRA UNESCO DE SOSTENIBILIDAD

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN, CAUCA

2018

Contenido

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. OBJETIVOS	10
4.1 Objetivo General	10
4.2 Objetivos Específicos	10
5. MARCO REFERENCIAL.....	11
5.1. Marco Teórico	11
5.2. Marco Jurídico.....	20
5.3. Estado del Arte	24
6. METODOLOGÍA.....	27
6.1 Área De Estudio	27
6.2 Estaciones de Muestreo	29
6.3 Parámetros de Investigación.....	31
6.3.1 Calidad del bosque de ribera.	31
6.3.2 Calidad Hídrica.....	31
6.3.3 Evaluación de la calidad ecológica de la vegetación de ribera.....	32
7. RESULTADOS	33
7.1 Observaciones en Campo.	33
7.2 Evaluación de la Calidad del Bosque de Ribera	36
7.3. Evaluación de la Calidad Hídrica.....	37
7.3.1 Evaluación de la calidad Biológica	37
7.3.2 Evaluación de la Calidad del Agua con Base en los Resultados Fisicoquímicos.....	39

7.4 Evaluación del Estado Ecológico del Ecosistema.....	41
8. DISCUSIÓN	43
8.1 Evaluación de la Calidad del Bosque de Ribera	45
8.2 Evaluación de la calidad Hídrica.....	47
8.2.1 Calidad Biológica	47
8.2.2 Calidad Fisicoquímica del Agua.....	48
8.3 Estado Ecológico del Ecosistema Fluvial.	49
8.4 Evaluación Metodológica.....	49
8.5. Estrategias de conservación, protección, restauración o rehabilitación en las zonas impactadas.....	51
9. CONCLUSIONES	53
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Localización del municipio de Suárez y de la zona de estudio.</i>	28
Figura 2. <i>Mapa de coberturas vegetales de la microcuenca “La Chorrera”, Suárez – Cauca, Colombia.</i>	30
Figura 3. <i>Índices aplicados en las estaciones de monitoreo.</i>	33
Figura 4. <i>Mapa de calidad del bosque ripario.</i>	36
Figura 5. <i>Mapa Estado Ecológico del Ecosistema.</i>	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Metodologías de evaluación de calidad de ribera, calidad hídrica y estado ecológico de los ecosistemas fluviales.</i>	13
Tabla 2. <i>Normativa Colombiana enfatizada en la administración, planificación y manejo del recurso hídrico.</i>	20
Tabla 3. <i>Altitud y coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo.</i>	29
Tabla 5. <i>Observaciones en campo.</i>	34
Tabla 6. <i>Calidad del bosque de ribera en las diferentes estaciones, según los índices evaluados.</i>	36
Tabla 7. <i>Calidad ecológica de las estaciones E3 y E4.</i>	37
Tabla 8. <i>Clasificación taxonómica de MAE y Evaluación del índice BMWP/COL, Estación E3.</i>	37
Tabla 9. <i>Clasificación taxonómica de MAE y Evaluación del índice BMWP/COL, Estación E4.</i>	38
Tabla 10. <i>Clasificación MAE y calidad biológica en la Estación E3.</i>	39
Tabla 11. <i>Clasificación MAE y Calidad biológica en la Estación E4.</i>	39
Tabla 12. <i>Análisis fisicoquímicos tomados en campo (GEA).</i>	40
Tabla 13. <i>Análisis Fisicoquímico del laboratorio (GEA).</i>	40
Tabla 14. <i>Análisis fisicoquímicos por parte de la CRC.</i>	40
Tabla 15. <i>Resultados ICA-NSF.</i>	41
Tabla 16. <i>Resultados índices de contaminación.</i>	41
Tabla 17. <i>Estado ecológico del ecosistema.</i>	41

ANEXOS

Anexo 1. *Formatos de campo* 63

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es considerado un país megadiverso debido a su privilegiada posición en el planeta, la evolución de sus condiciones físicas y biológicas, que han dado origen a una gran cantidad de cuencas hidrográficas, posicionándolo como un lugar destacado en cuanto a recursos hídricos en el mundo (Esquivel et al., 2014). Estas características han promovido el desarrollo de una gran biodiversidad de especies y ecosistemas (Vasquez & Buitrago, 2011).

A escala mundial, y sobre todo en los países con economías emergentes, las cuencas se ven amenazadas por diversos factores como el desarrollo urbano e industrial no planificado, la deforestación, el uso y cambio del suelo, el cambio climático, entre otros; los cuales afectan directamente la disponibilidad y calidad de este recurso, que no sólo es fundamental para la biodiversidad, sino que es esencial para la sustentabilidad de la vida (Salas & Mendoza, 2006).

Durante las últimas décadas, Colombia ha venido soportando los efectos de los fenómenos de “El Niño” y “La Niña”, que se presentan con mayor frecuencia e intensidad debido al calentamiento global, generando impactos negativos sobre el territorio nacional. El Departamento del Cauca es uno de los más afectados por estos fenómenos, dando como resultado la afectación directa de los ecosistemas y por ende un déficit en los bienes y servicios que estos brindan (Joaqui, Martínez, Otero, Valencia, & Figueroa, 2014).

De acuerdo con registros del IDEAM, durante el último fenómeno de “El Niño” registrado, las precipitaciones disminuyeron alrededor del 70% y la temperatura aumentó 2.5 °C. Las áreas con mayor afectación por déficit de lluvia (disminución moderada a fuerte) se ubicaron en los departamentos de Tolima, Huila, Nariño y Cauca (IDEAM, 2015). En el Departamento del Cauca se vieron afectados la gran mayoría de sus municipios entre los cuales se encuentran los Municipios de Mercaderes, Bolívar, Santander de Quilichao, Popayán, Timbío, Cajibío, Patía,

La Sierra y Suarez, donde se presentó un déficit de oferta hídrica para los acueductos que surten a sus cabeceras municipales (IDEAM, 2015). Estos fenómenos meteorológicos sumados a los factores antrópicos, como el aumento de la ganadería, el territorio cultivado y la minería, han ocasionado una gran presión sobre el recurso hídrico en el Departamento del Cauca, lo que de manera indirecta afecta los servicios ambientales (AQUARISC, 2017).

Teniendo en cuenta la necesidades del sector, la oferta de ciencia, tecnología e innovación (CTI) y considerando que los sistemas de abastecimiento de agua para la región son ineficientes y vulnerables ante el cambio y la variabilidad climática que alteran la oferta hídrica regional e impacta en la calidad de vida de sus habitantes, se propone el proyecto “Análisis de vulnerabilidad e implementación de alertas tempranas para sistemas de abastecimiento de agua en el departamento del Cauca (AQUARISC)¹”. Este proyecto tiene como propósito fortalecer los mecanismos y herramientas relacionados con la toma de decisiones, el monitoreo de la calidad del agua y la implementación de alertas tempranas para la adaptación a la variabilidad y al cambio climático de sistemas de abastecimiento en dichos municipios.

Por otro lado, de 2013 a 2016, UNESCOSOST-UPC llevó a cabo el proyecto LIFE REAGRITECH financiado por la Unión Europea, cuyo objetivo fue la creación de un prototipo de humedales construidos y franjas de vegetación en tres localidades en Cataluña para la disminución del consumo de agua, reutilización del recurso y mitigación del impacto por nitratos en terrenos agrícolas (Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la UPC., 2016). Los resultados de este proyecto son la base y antecedente para proponer la transferencia e implementación de estas

¹ Proyecto AQUARISC coordinado por Samir Carlos Joaquín Daza Ph.D (c), Juan Pablo Martínez Idrobo Ph.D (c), Juan Diego Otero Sarmiento Ph.D (c), Mónica Patricia Valencia Rojas Ph.D (c) y Apolinar Figueroa Casas Ph.D, en coordinación con la Gobernación del Cauca, la Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (UNESCOSOST-UPC) y entidades aliadas: EMCASERVICIOS S.A.E.S.P., Universidad del Cauca (Grupo de Estudios Ambientales, GEA e Ingeniería Telemática), Universidad del Valle, EMQUILICHAO ESP, JAC Clarete Bajo (Popayán), Acueducto de Cajibío, CRC, CINARA, CREPIC, Cluster CreaTIC y las Alcaldías de Patía, Timbío, Bolívar, La Sierra, Santander de Quilichao, Mercaderes, Suarez, Cajibío y Popayán.

ecotecnologías y métodos si se es viable para la zona de estudio ubicada en el municipio de Suarez - Cauca, con base en un diagnóstico socioambiental.

En este sentido, el presente trabajo se enmarca dentro de los objetivos del proyecto AQUARISC y tiene como objetivo evaluar los factores socioambientales que influyen en la calidad y abastecimiento de agua en la microcuenca La Chorrera, Municipio de Suárez – Cauca, ($2^{\circ} 56' 52.24''N - 76^{\circ} 43' 42.27''O$ y $2^{\circ} 56' 28.75''N - 76^{\circ} 42' 50.32''O$) a partir de la valoración global del ecosistema fluvial (Estado Ecológico del Ecosistema). Esta fuente fue priorizada debido a que abastece cerca del 50% del agua que es tratada para el consumo de la cabecera municipal y además se han reportado impactos ambientales negativos directos e indirectos sobre el recurso hídrico debido a la agricultura y ganadería, (aproximadamente el 40 % del territorio de la microcuenca es usada para estas actividades económicas) (AQUARISC, 2017). Por otro lado, Suárez es uno de los principales municipios productores de oro en el Departamento del Cauca, por lo que las actividades de extracción ilícita de este metal podrían estar impactando en la calidad del agua de la microcuenca de estudio (ASGM, 2012).

El presente trabajo se llevó a cabo en colaboración con UNESCOSOST-UPC, el Centro de Cooperación para el Desarrollo UPC (código del proyecto U002-2017), investigadores del proyecto AQUARISC.(SGR-FCTI convenio No. 042-2016) y el acompañamiento del Grupo de Estudios Ambientales (GEA-UNICAUCA). En los siguientes apartados se describe el análisis de la problemática y posibles propuestas para mejorar la gestión relacionada con el abastecimiento y provisión de agua en el Municipio de Suárez, Cauca, con base en la recolección de información histórica y datos de las jornadas de campo que se llevaron a cabo en Agosto y Octubre de 2017. El diagnóstico socioambiental incluyó la aplicación de diferentes índices ecológicos que ayudaron a identificar las condiciones actuales de la vegetación de ribera y zonas estratégicas

para la posible implementación de ecotecnologías o actividades de restauración con base en un enfoque de cuenca hidrográfica. Los resultados más relevantes muestran que la microcuenca de estudio presenta, en general, un buen estado ecológico; sin embargo, se identificaron algunas perturbaciones que podrían estar afectando la calidad y provisión de agua, por lo que en este trabajo se proponen algunas estrategias de conservación, protección, restauración o rehabilitación en las zonas impactadas, que busquen aumentar la resiliencia de este lugar y con ello asegurar que la calidad y cantidad de agua de esta fuente sea la adecuada, para abastecer al acueducto municipal de Suarez y así permitir un servicio continuo de agua potable para la comunidad; finalmente, estos resultados contribuyen al conocimiento de la zona de estudio para mejorar la toma de decisiones por parte del proyecto AQUARISC.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las actividades antrópicas y la variabilidad climática han puesto en evidencia la transformación del ecosistema, repercutiendo en la economía, el ambiente y la calidad de vida de las comunidades, en especial por el proceso de uso intensivo del suelo y deforestación de las cuencas altas (Ruiz, 2017).

El recurso hídrico para consumo humano es un bien cada vez más escaso, aún en nuestros días. Se ha estimado que en 2017, 2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro (OMS, 2017). La disponibilidad y accesibilidad de la población al agua requiere cada vez de mayor inversión, tanto en infraestructura como en la gestión y el manejo de los recursos naturales para mejorar en la calidad y cantidad disponible (Ruiz, 2017).

Pese a que Colombia es el sexto país con mayor oferta hídrica en el mundo, el Ministerio de Medio Ambiente calcula que la mitad de los recursos hídricos tienen problemas de calidad (Beleño, 2011), adicionalmente el Estudio Nacional del Agua (ENA) divulgado por el IDEAM en el año 2014, estipula que Colombia pese a poseer una elevada oferta hídrica sufre graves problemas de escasez debido a que la distribución del agua es desigual respecto a las diferentes áreas hidrográficas; como es el caso de las áreas del Magdalena-Cauca y Caribe, donde se concentra el 80 por ciento de la población del país y se produce el 80 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB), sólo está el 21 por ciento de la oferta del líquido (EL HERALDO, 2015).

Para el año 2013, se estableció que el 28.5% de la población no cuenta con acceso al servicio de agua potable en el Departamento del Cauca, este porcentaje es relevante debido a que este es uno de los departamentos del territorio nacional con mayor riqueza hídrica (CRC, 2013).

Como se mencionó anteriormente, las variaciones climáticas en Colombia, tales como el

fenómeno de El Niño y La Niña, se presentan con mayor frecuencia, como consecuencia del calentamiento global, manifestándose en periodos marcados por fuertes sequías y lluvias (Joaqui et al., 2014). Lo anterior, aunado a las actividades antrópicas, ha incrementado la escasez de agua y las consecuencias por el exceso de precipitación, principalmente en las comunidades rurales (Unesco, 2003). La acelerada frecuencia e intensidad del fenómeno del Niño para Colombia provoca escasez de lluvias, esta sequía impacta los procesos productivos de la economía agropecuaria, en la generación hidroeléctrica, en el transporte fluvial, en la provisión de agua para consumo humano y en el ambiente, entre los eventos más relevantes los ocurridos en los años 1997-1998 y 2014-2016 (UNGRD, 2016). Por su parte, el fenómeno de La Niña aumenta la precipitación, esta situación promueve las inundaciones, deslizamientos, vendavales, avalanchas y granizadas, generando cuantiosas pérdidas económicas, humanas y ambientales, entre ellos los ocurridos en los años 1998-2001 y 2010-2011 (Turbay, Nates, Jaramillo, Velez, & Ocampo, 2013).

Durante el periodo de 2014 y 2016 se registró en el municipio de Suárez diferentes afectaciones por fenómenos climatológicos, los cuales ocasionaron, un déficit de oferta hídrica que impactó en el abastecimiento de agua a la comunidad y disminuyó la cantidad de agua del embalse “La Salvajina”, también aumentó la presencia de incendios en diferentes microcuencas del municipio (IDEAM 2015).

Al final de dicho periodo, en el año 2016 se reportó una rápida transición de fenómeno de El Niño a fenómeno de La Niña, lo que ocasionó fuertes precipitaciones y problemáticas por inundaciones, ocasionando que la represa la salvajina llegase a su límite de almacenamiento (El País, 2017). Estos fenómenos son confirmados por actores locales, quienes mencionan que El Niño ha ocasionado en el territorio eventos más prolongados y frecuentes de sequías e incendios;

mientras que La Niña ha provocado numerosas inundaciones, deslizamientos y avalanchas.

Algunas de las personas consultadas, son conscientes de que las actividades que se llevan a cabo en el Municipio (agricultura, ganadería y minería) contribuyen al deterioro del ambiente y pueden tener un impacto negativo en la cantidad y calidad del recurso hídrico. Lo anterior también se menciona en el reporte de CINARA (2017) sobre el reconocimiento de las condiciones ambientales, sociales, técnicas y de gestión de los servicios de acueducto. Este diagnóstico indica que las actividades no se han planificado de forma sostenible, lo cual ha generado conflictos ambientales e impactos en los servicios ambientales relacionados con la provisión, uso y calidad del agua en las cuencas abastecedoras, ocasionando una alta pérdida de cobertura vegetal que protege contra la erosión y el mantenimiento de corredores biológicos.

3. JUSTIFICACIÓN

Los estudios socioambientales son necesarios e importantes porque al considerar las interrelaciones sociedad-naturaleza como una unidad, dan un diagnóstico holístico e integral de la zona de estudio, y con ello da soporte a la toma de decisiones (Uribe et al., 2014).

Ante los problemas ambientales que actualmente enfrentamos, han surgido nuevas visiones y disciplinas. Un ejemplo es la ingeniería ecológica propuesta por Mitsch y Jorgensen (2004), la cual se define como “el diseño de ecosistemas sostenibles que integran a la sociedad humana con su ambiente natural para el beneficio de ambos”. Una de las características más importantes de esta visión es la restauración de ecosistemas que han sido sustancialmente perturbados por actividades humanas. Específicamente para el tratamiento y reutilización de agua, se ha propuesto la creación de sistemas naturales de tratamiento como los humedales construidos y las franjas de vegetación, los cuales se basan en procesos de descontaminación por sinergia de diferentes comunidades de organismos y ofrecen grandes ventajas como el bajo consumo de energía, tienen menores costos de inversión y operación y mejoran los servicios ecosistémicos (González & García, 2007; Lovell & Sullivan, 2005).

El uso de estas ecotecnologías y técnicas de restauración han sido utilizadas con éxito en varias partes del mundo (Agboola, 2014; Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la UPC, 2016). Su transferencia e implementación podría ser una opción para mejorar la calidad y cantidad de agua en los municipios del Departamento del Cauca, específicamente en la zona de estudio, no obstante, lo primero es evaluar las condiciones socioambientales actuales e históricas para identificar sitios prioritarios y potenciales para su adaptación a las condiciones locales.

La cabecera municipal de Suárez cuenta con un sistema de abastecimiento colectivo cuya principal fuente es la Quebrada “La Chorrera”. Este sistema ha soportado presiones por parte de

la comunidad y de los fenómenos climáticos, los cuales han afectado la cantidad y calidad del agua captada para su tratamiento (AQUARISC, 2017). De esta forma, sería importante identificar las presiones antrópicas y la variabilidad climática que podrían estar impactando de forma negativa en la cantidad y la calidad de agua en la microcuenca de “La Chorrera” para ayudar a proponer acciones de restauración en sitios estratégicos con base en un enfoque de cuenca hidrográfica, el cual nos permitirá entender el funcionamiento del ecosistema y priorizar acciones.

De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se determina el estado ecológico de la quebrada “La Chorrera” con base en un estudio socioambiental. Los resultados identificaron algunas de las presiones de origen antrópico presentes en la zona de estudio. Adicionalmente, el uso de índices ecológicos de evaluación cualitativa permitieron evaluar el estado de la vegetación de ribera y proponer posibles estrategias de restauración o rehabilitación en zonas afectadas con la finalidad de mejorar la calidad y provisión del agua y a su vez, contribuir al conocimiento biofísico de esta zona. Lo anterior servirá de base a los tomadores de decisiones para mejorar los Planes de Manejo y Ordenamiento de Cuencas, así como contribuir al el conocimiento y valoración de recursos naturales y los servicios ambientales.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Evaluar los factores socioambientales que influyen en la calidad y abastecimiento de agua en la microcuenca La Chorrera que abastece el acueducto municipal de Suárez – Cauca.

4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las condiciones actuales de la zona de estudio desde una perspectiva socioambiental.
- Analizar los factores socioambientales que pueden estar afectando la calidad ecológica de los ecosistemas riparios con base en los índices QBR, RQI y CERA-S.
- Identificar geográficamente los sitios con mayor impacto negativo y disponibilidad de terreno a nivel de microcuenca para proponer la creación o restauración de sistemas naturales de tratamiento de agua.
- Proponer estrategias de conservación, protección, restauración o rehabilitación en las zonas impactadas.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. Marco Teórico

De acuerdo con el decreto 1729 de 2002, se define a las cuencas hidrográficas como “las áreas 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”.

Más de la mitad de la población mundial utiliza el agua de las cuencas para producir alimentos, generar electricidad y provisión para fines domésticos y consumo por lo que la protección de los recursos naturales en las cuencas hidrográficas es esencial para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, tanto ahora como en el futuro. No obstante, la creciente contaminación y el deterioro de las cuencas ha degradado el ambiente y el hábitat de la flora y la fauna silvestre, incluyendo la economía y la salud de los seres humanos (FAO, 2002).

El agua y el desarrollo socioeconómico tienen una estrecha interrelación, de modo que no es posible asegurar un desarrollo sin agua, pero a su vez el desarrollo conlleva indefectiblemente a mayores necesidades de ella. Así mismo, es evidente que el agua además del valor primordial de sustento de la vida adquiere un valor económico intrínseco, por tanto es importante realizar cuantiosas inversiones en infraestructuras y elevados costes de tratamiento y gestión, para asegurar su disponibilidad, suficiencia y calidad (Molina, 2007).

Se ha identificado que a nivel de cuenca las transformaciones en el uso del suelo, ya sean naturales o antrópicas, generan problemáticas sociales, económicas y ambientales, que pueden provocar desde erosión, hasta la disminución en la continuidad de los flujos hídricos e incremento de la escorrentía superficial (Sánchez, Pinilla, & Mancera, 2015).

Los bosques de ribera, cumplen un rol importante en el funcionamiento del ecosistema de las cuencas, y sus alteraciones tienen efectos que superan el entorno inmediato, con consecuencias que afectan a todo el corredor fluvial (Naiman, Décamps, & Pollock, 1993; Naiman & Décamps, 1997). La existencia de amplias bandas riparias con suelos permeables y bajo coeficiente de escorrentía, retrasan la formación de avenidas, disminuyendo considerablemente el porcentaje de agua de lluvia que llega a los cauces. Asimismo, la elevada rugosidad de los suelos riparios disminuye la velocidad de las escorrentías o aguas de inundación, favoreciendo su infiltración y la recarga de los acuíferos que en épocas de sequía contrarrestarán la disminución del caudal. Finalmente, la presencia de la vegetación contribuye a la estabilidad de las orillas a través de su sistema radicular, disminuyendo el riesgo de erosión por la acción de la corriente (González, 2002; Corenblit et al., 2007).

Actualmente, la valoración ambiental de las riberas fluviales es un tema de gran interés, no solo para el desarrollo científico del funcionamiento ecológico de los ríos, sino también para la gestión de los recursos hídricos. Incluso, su valoración es requerida por la Directiva Marco del Agua para conocer su estado ecológico y proponer medidas de restauración y conservación (González, García, Lara, & Garilleti, 2006).

En las últimas décadas ha habido un creciente interés por el desarrollo de estrategias que permitan realizar estudios de aplicación rápida y sencilla, que integren aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable, para evaluar y determinar la calidad de las riberas (Gualdoni, Duarte, & Medeot, 2011).

La tabla 1, describe una variedad de índices y protocolos propuestos para la evaluación de la calidad del bosque de ribera, calidad hídrica y estado ecológico del ecosistema fluvial; igualmente, hace énfasis en las variables de estudio y su respectivo modelo de calificación.

Tabla 1. Metodologías de evaluación de calidad de ribera, calidad hídrica y estado ecológico de los ecosistemas fluviales.

Parámetro de evaluación	Protocolo / Índice	Autor(es)	Variables	Evaluación
Calidad del Bosque de Ribera	<i>Qualitat del Bosc de Ribera</i> (QBR)	Munné, Prat, & Solá, 1998	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de cubierta vegetal de la zona riparia. • Estructura de la cubierta. • Calidad de la cubierta. • Grado de naturalidad del canal fluvial. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena/excelente: ≥ 95 • Buena: 75-90 • Moderada: 55-70 • Mala: 30-50 • Muy mala: ≤ 25
	<i>Riparian Quality Index</i> (RQI)	González & García, 2011	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones del terreno con vegetación riparia. • Continuidad longitudinal y cubierta del corredor ripario. • Composición y estructura de la vegetación riparia. • Diversidad de edades y regeneración natural. • Condiciones de la orilla. • Flujos y conectividad lateral. • Sustrato y conectividad vertical. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena/excelente: 130-150 • Buena: 100-129 • Moderada: 70-99 • Pobre: 40-69 • Mala: 10-39 • Muy mala: <10

Parámetro de evaluación	Protocolo / Índice	Autor(es)	Variables	Evaluación
	Protocolo Simplificado y Guía de Evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA-S) "Primera Sección"	Encalada, Rieradevall, Ríos-Touma, García, & Prat, 2011	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura y naturalidad en la vegetación de ribera. • Continuidad de la vegetación de ribera a lo largo del río. • Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacente o próximo. • Presencia de basuras y escombros. • Naturalidad del canal fluvial. • Composición del sustrato. • Regímenes de velocidad y profundidad del río. • Elementos de heterogeneidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy buena/excelente: >35 • Buena: 28-35 • Moderada: 20-28 • Mala: 10-20 • Muy mala: <10
Calidad Hídrica	<i>Biological Water Monitoring Party</i> (BMWP/COL)	Roldán, 2003	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE). 	<ul style="list-style-type: none"> • Buena: >150, 101-120 • Aceptable: 61-100 • Dudosa: 36-60 • Crítica: 16-35 • Muy Crítica: <15

Parámetro de evaluación	Protocolo / Índice	Autor(es)	• Variables	• Evaluación
Protocolo Simplificado y Guía de Evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA-S) "Segunda Sección"	Encalada et al., 2011		<ul style="list-style-type: none"> • Presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE). 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente. • Buena. • Moderada. • Mala. • Pésima.
Índice de Calidad Hídrica (ICA NSF)	NSF, 1970		<ul style="list-style-type: none"> • Demanda Bioquímica de Oxígeno • Porcentaje de oxígeno de saturación disuelto. • Coliformes fecales. • Nitratos • Potencial de Hidrogeno. • Temperatura • Sólidos disueltos. • Ortofosfatos • Turbidez. 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente 91-100 • Buena 71-90 • Media 51-70 • Mala 26-50 • Muy mala 0-25

Parámetro de evaluación	Protocolo / Índice	Autor(es)	Variables	Evaluación
	Índice de Contaminación Por Mineralización (ICOMI)	Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997	<ul style="list-style-type: none"> • Conductividad • Dureza • Alcalinidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna 0-0.2 • Baja 0.2-0.4 • Media 0.4-0.6 • Alta 0.6-0.8 • Muy alta >0.8-1
	Índice de Contaminación Por Materia Orgánica (ICOMO)	Ramírez et al., 1997	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5) • Coliformes totales • Porcentaje de saturación de Oxígeno 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna 0-0.2 • Baja 0.2-0.4 • Media 0.4-0.6 • Alta 0.6-0.8 • Muy alta >0.8-1
	Índice de Contaminación Por Solidos Suspendidos (ICOSUS)	Ramírez et al., 1997	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos suspendidos 	<ul style="list-style-type: none"> • SST > 340 mg/l el valor del ICOSUS es igual a 1 • SST < 10 mg/l el valor del ICOSUS será 0 • Ninguna 0-0.2 • Baja 0.2-0.4 • Media 0.4-0.6 • Alta 0.6-0.8 • Muy alta >0.8-1

Parámetro de evaluación	Protocolo / Índice	Autor(es)	Variables	Evaluación
	Índice de Contaminación Por TROFIA (ICOTRO)	Ramírez et al., 1997	• Fósforo total	<ul style="list-style-type: none"> • Oligotrofia <0.01 • Mesotrofia 0.01-0.02 • Eutrofia 0.02-1 • Hipertrofia > 1
	Índice de Contaminación Por Temperatura (ICOTEMP)	Ramírez et al., 1997	• Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna 0-0.2 • Baja 0.2-0.4 • Media 0.4-0.6 • Alta 0.6-0.8 • Muy alta >0.8-1
	Índice de Contaminación Por pH (ICOpH)	Ramírez et al., 1997	• Potencial de Hidrogeno (pH)	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna 0-0.2 • Baja 0.2-0.4 • Media 0.4-0.6 • Alta 0.6-0.8 • Muy alta >0.8-1
Estado Ecológico del Sistema Fluvial	Protocolo Simplificado y Guía de Evaluación de Calidad Ecológica de Ríos Andinos (CERA-S) "Tercera Sección"	Encalada et al., 2011	• Relaciona la Primera y segunda sección del Protocolo CERA-S, a partir de un cuadro combinatorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente. • Bueno. • Moderado. • Malo. • Pésimo.

Parámetro de evaluación	Protocolo / Índice	Autor(es)	Variables	Evaluación
<i>Ecological Status Rivers Mediterranean Index</i> (ECOSTRIMED)	University of Barcelona, 2000	•Relaciona un índice de calidad biológica del río y un índice de valoración de calidad del bosque de ribera a través de un cuadro combinatorio.	•Muy buena o Excelente. •Bueno. •Regular. •Malo. •Pésimo.	

La aplicación de los índices y protocolos mencionados anteriormente, tienen como objetivo evaluar el estado ecológico de los ecosistemas fluviales para proponer medidas de conservación, restauración y rehabilitación que contribuyan a mejorar el equilibrio ecosistémico con base en la implementación de acciones sostenibles (Molina, 2007).

De esta forma, los sistemas naturales de tratamiento de agua podrían ser una alternativa efectiva y de bajo costo para la prevención, mitigación y adaptación a los factores que puedan alterar dicho equilibrio, debido a que contribuyen a la eliminación de sustancias contaminantes por medio de mecanismos y procesos naturales que no requieren de energía externa ni aditivos químicos. En estos sistemas el proceso de descontaminación se lleva a cabo por la sinergia de diferentes comunidades de organismos como macrófitos, microorganismos y macroinvertebrados que se desarrollan tanto en el sustrato como en la interfase con el agua (González & García, 2007; Lovell & Sullivan, 2005).

Los humedales construidos y las franjas de vegetación son sistemas naturales de tratamiento de agua que deben estar constituidos principalmente por especies de vegetación autóctona. Además son sistemas que podrían ser implementados en proyectos de cooperación y en zonas rurales debido a sus costos y a que no generan dependencia tecnológica (García & Corzo, 2008) y (Giaccio, Laterra, & Cabria, 2017).

Algunos autores han mencionado que estos sistemas son de gran importancia para reducir las externalidades en cuerpos de agua superficiales provenientes de la escorrentía superficial de nutrientes y sedimentos de origen antrópico (Giaccio et al., 2017).

Lo anterior, ratifica la importancia de avanzar en el conocimiento de los costos y beneficios de los componentes económicos, sociales y ambientales que se ven afectados por la inadecuada planificación de las acciones antrópicas y la acelerada variabilidad (Molina, 2007).

5.2. Marco Jurídico

Luego de la promulgación de la Constitución de 1991, Colombia ha desarrollado una serie de instrumentos de jurisprudencia, en términos de normatividad nacional sobre manejo del recurso hídrico, reconociendo los aspectos destacados por otros países (principalmente los desarrollados), en materia del uso y manejo del agua (Guevara, 2013). El investigador Ernesto Guhl en una entrevista a la revista semana plantea que la Ley 99 de 1993, le dio vida al Sistema Nacional Ambiental, e introdujo en el estado una nueva concepción sobre la importancia de conservar los recursos naturales, adicionalmente enfatizo en que la distancia que hay entre lo que dice el papel y lo que existe en la realidad sigue siendo enorme, debido a que hay un Sistema Nacional Ambiental que existe jurídicamente, pero que no se ha materializado en la realidad (Semana SOSTENIBLE, 2015).

A continuación, en la Tabla 2 se recoge una serie de Leyes, Normas, Decretos y Resoluciones en materia del recurso hídrico en Colombia.

Tabla 2. *Normativa Colombiana enfatizada en la administración, planificación y manejo del recurso hídrico.*

Normatividad	Responsable	Enfoque principal
Resolución N°0957 de 2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<ul style="list-style-type: none"> Por la cual se adopta la Guía Técnica de Criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones.
Resolución N°330 de 2017	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)
Resolución N°0631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<ul style="list-style-type: none"> Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas y a los sistemas de alcantarillado público.

Normatividad	Responsable	Enfoque principal
Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Degradadas (PNR)	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015	<ul style="list-style-type: none"> Tiene como objetivo a 20 años, orientar y promover procesos integrales de restauración ecológica que busquen recuperar las condiciones de los ecosistemas como su estructura, su composición o sus funciones y garantizar la prestación de servicios ecosistémicos en áreas degradadas de especial importancia ecológica para el país
Circular Externa N°00000047 de 2014	Ministerio de Salud y Protección Social	<ul style="list-style-type: none"> Directrices en salud para la preparación y respuesta frente a la actual temporada seca y ante un posible fenómeno “El Niño” 2014-2015.
Decreto N°1640 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<ul style="list-style-type: none"> Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos.
Resolución N°1517 de 2012	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	<ul style="list-style-type: none"> Por la cual se adopta el Manual para la asignación de compensaciones por pérdida de biodiversidad.
Política Nacional Para La Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012	<ul style="list-style-type: none"> Promueve la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (GIBSE), de manera que se mantenga y mejore la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, a escalas nacional, regional, local y transfronteriza, considerando escenarios de cambio y a través de la acción conjunta, coordinada y concertada del Estado, el sector productivo y la sociedad civil.
Ley N°1450 de 2011	Congreso de la República	<ul style="list-style-type: none"> Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014.

Normatividad	Responsable	Enfoque principal
Ley N°1454 de 2011	Senado de la Republica	<ul style="list-style-type: none"> • Por la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones.
Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, (PNGIRH) 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> • Establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años.
Decreto N°3930 del 2010	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> • Reglamenta la Ley N°9 de 1979 y N°2811 de 1974, sobre usos del agua y manejo de residuos líquidos.
Resolución N°2115 de 2007	Ministerio de la Protección, Social, & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto N°1575 de 2007	Ministerio de la Protección Social	<ul style="list-style-type: none"> • Establece el Sistema para la Protección y Control de la calidad del agua para consumo humano.
Decreto N°1323 de 2007	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	<ul style="list-style-type: none"> • Se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico – SIRH.
Protocolo de restauración de coberturas vegetales afectadas por incendios forestales	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta una serie de procedimientos y recomendaciones sintetizadas a partir de experiencias nacionales e internacionales basadas en conocimientos científico-técnicos para el restablecimiento de ecosistemas que han sido afectados por el fuego.

Normatividad	Responsable	Enfoque principal
Resolución N°104 de 2003	Ministerio del Medio Ambiente & IDEAM	<ul style="list-style-type: none"> • Se establecen los criterios y parámetros para la clasificación y priorización de cuencas hidrográficas.
Plan estratégico para la restauración ecológica y el establecimiento de bosques en Colombia, plan verde.	Ministerio del Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Generar las bases para involucrar la restauración ecológica, la reforestación con fines ambientales y comerciales y la agroforestería en el ordenamiento ambiental territorial.
Ley N°373 de 1997	Congreso de Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto N°1600 de 1994	Ministerio del Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Se reglamenta parcialmente el Sistema Nacional Ambiental –SINA.
Ley N°99 de 1993	Congreso de Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
Decreto N°1449 de 1977	Ministerio de Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley N°2811 de 1974.
Decreto Ley N°2811 de 1974	(Republica de Colombia, 1974)	<ul style="list-style-type: none"> • Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

5.3. Estado del Arte

En la actualidad, existe una gran preocupación por el deterioro acelerado de los ecosistemas y servicios ambientales. Algunos estudios afirman que las actividades antrópicas y la variabilidad climática están relacionadas directa o indirectamente con este suceso, ejemplo de ello es lo planteado por Ruiz (2017). Con base en lo anterior, se han realizado diferentes estudios enfocados en profundizar sobre estas temáticas, algunos de ellos se presentan a continuación.

Arismendi (2008) realizó un diagnóstico ambiental de la cuenca de “La Quebrada Mensuli” (Bucaramanga, Colombia) con el objetivo de aportar información sobre la contaminación hídrica debido a descargas de agua residual, tanto de industria, como de población urbana y rural que habita en las orillas. Identificó que los problemas más severos que presenta la cuenca están relacionados con la degradación de la cobertura vegetal, la erosión y las prácticas agrícolas no sostenibles sobre áreas vulnerables. Además, describe que las redes fluviales están afectadas por numerosas captaciones sin control y su uso como vía de evacuación de aguas residuales de tipo doméstico, industrial, avícola y piscícola, como consecuencia de la falta de programas de saneamiento básico rural, lo cual repercute drásticamente en la calidad ecosistémica de la cuenca.

Guevara (2013) describe los impactos antropogénicos que se relacionan con los cambios en la cobertura vegetal y el uso y manejo del suelo, que a su vez comprometen la calidad y cantidad de agua, además del suministro de otros bienes y servicios ecosistémicos para el futuro. También determina que es necesaria la intervención del gobierno colombiano en la actualización y formulación de políticas, planes o programas, en consulta y cooperación constante con otras instituciones, autoridades civiles y ambientales, e investigadores del país (o del exterior), para alcanzar una corresponsabilidad sobre la gestión sostenible de los ríos en esta región.

Joaquí y Figueroa (2014) presentan un artículo de revisión en el que analizan los procesos tradicionales de gestión y planificación que han tenido un enfoque disciplinar para enfrentar problemáticas ambientales como el cambio climático en la alta montaña andina cuyo propósito se ha centrado en el manejo o mitigación de los impactos ambientales generados por las actividades antrópicas. Con base en la opinión de los autores, lo anterior se fundamenta en bases conceptuales que, por lo general, son descontextualizadas, por tal motivo proponen la incorporación de teorías complementarias como los socio-ecosistemas, la resiliencia, la transformabilidad, la adaptación y la vulnerabilidad.

Loiza, Carvajal y Ávila (2014), evaluaron la integridad agroecológica de los predios localizados en la microcuenca Centella (Dagua, Valle del Cauca). La evaluación tuvo en cuenta diversos factores tales como: El manejo de suelos y coberturas, agua, residuos sólidos, aspectos socioeconómicos y político-institucionales. Con base en la información de los indicadores, se definieron umbrales mínimos de capacidad ecosistémica de los predios para soportar usos antrópicos

Barquín, Fernández, Alvarez y Peñas (2011), realizaron un estudio de evaluación de la calidad riparia y la heterogeneidad del hábitat fluvial en los ríos incluidos en la red Natura 2000 de Cantabria, norte de España. Se utilizaron los índices QBR y RQI para evaluar la calidad de la ribera, y los índices IHF y HQA para evaluar la heterogeneidad del hábitat fluvial. Una vez desarrollados los índices se comparó los resultados con datos ya existentes y se definió que índices aportaron mejores resultados, en este caso se obtuvo que RQI y HQA obtuvieron ligeramente mejores resultados que el QBR y el IHF para distinguir entre sitios en condiciones de referencia y no referencia en los ríos de Cantabria, y que la heterogeneidad del hábitat fluvial no debe ser utilizada para evaluar la calidad de estos ecosistemas.

Corroto, Yalta, Vásquez y Gamarra (2016), evaluaron la calidad fisicoquímica, biológica e hidromorfológica de la cuenca alta del río Imaza en Perú, con el objetivo de conocer su calidad ecológica. El método se basó en protocolos de los índices biológicos CERA, QBR, ABI y BMWP-Col, identificando que la modificación de los microhábitats existentes en la cuenca repercute en el deterioro de la vegetación de ribera, además se determinó que las actividades agropecuarias y el consumo de agua de las poblaciones humanas producen una serie de contaminantes que disminuyen la calidad del agua de los cuerpos superficiales.

La Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la UPC (2016), llevó a cabo el proyecto LIFE-REAGRITTECH, el cual tuvo como objetivo la disminución del consumo de agua para agricultura y la minimización del impacto que las zonas vulnerables por nitratos tienen en el medioambiente. El proyecto se basó en la implementación de sistemas humedales híbridos y modulares (que incorporaron el uso de subproductos de la industria del corcho. El agua tratada se reutilizó en riego de cultivos y en la recarga de acuíferos, contribuyendo en la recuperación, restauración y ampliación de la superficie ocupada por los ecosistemas ribereños y acuáticos en tres localidades de Cataluña (Joaqui et al., 2014).

6. METODOLOGÍA

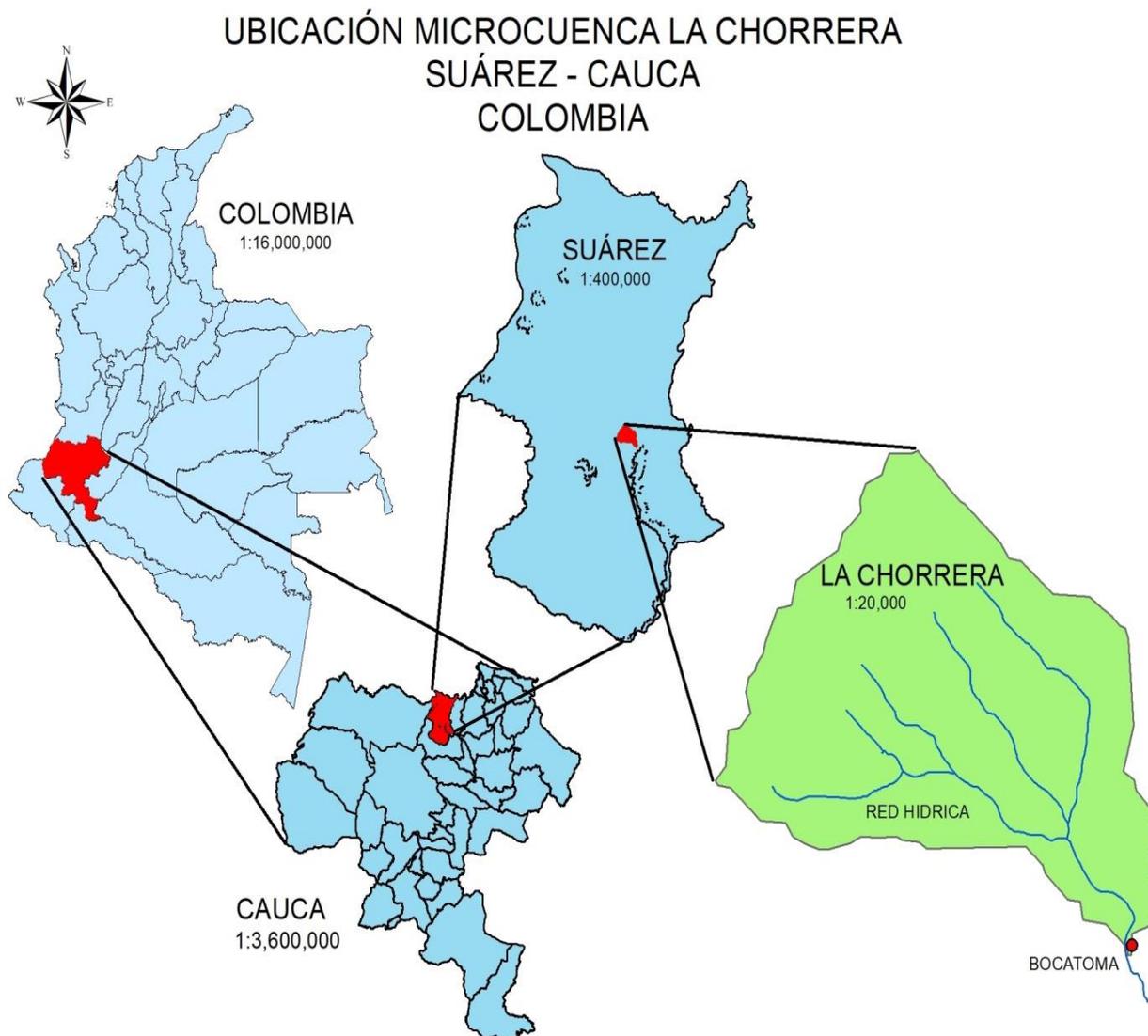
Para alcanzar los objetivos se llevó a cabo una metodología sistémica que incluyó actividades de gabinete, laboratorio y recolección de datos in situ. Se llevaron a cabo dos jornadas de campo con el acompañamiento de miembros de la Empresa Municipal de Servicios Públicos de Suárez E.I.C.E E.S.P (EMSUAREZ), pobladores de la vereda “La Estrella” e investigadores de la Cátedra UNESCO de Sostenibilidad-UPC (M. en C. Daniela Ávila) y el GEA (Ph.D. Juan Pablo Martínez, Biólogo Miller Guzmán y Biólogo Julián Felipe Cortes).

6.1 Área De Estudio

El municipio de Suárez se encuentra ubicado al Noroccidente del Departamento del Cauca (Figura 1), cuenta con una extensión de 389.87 Km², de los cuales 386.3 Km² corresponden a área rural y 3.57 km² corresponde a la parte urbana (1% del territorio), sus límites territoriales son al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al Suroriente y al Sur con el Municipio de Morales y al Occidente con López de Micay. La altitud media es de 1,023 m.s.n.m y su temperatura media es de 27 °C. La precipitación presenta una variación que se caracteriza por un régimen bimodal con dos periodos de lluvia altos (Marzo-Abril, Septiembre-Noviembre) y bajos (Diciembre-Febrero, Junio-Agosto) durante el año. Es de resaltar que en este municipio se encuentra la represa “La Salvajina”, hidroeléctrica generadora de energía operada por la Empresa de Energías del Pacífico S.A-EPISA (AQUARISC, 2017).

Su cabecera municipal cuenta con una población aproximada de 3240 habitantes (DANE 2015). La empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado EMSUAREZ cuenta con aproximadamente 1193 usuarios registrados, cuyo uso es principalmente doméstico (AQUARISC, 2017).

Figura 1. Localización del municipio de Suárez y de la zona de estudio.



La microcuenca “La Chorrera”, consta de un área aproximada de 211.14 ha, está formada por diversas vertientes las cuales dan origen a la quebrada “La Chorrera”, la cual vierte a la represa “La Salvajina”. El agua es usada con diferentes propósitos, como el riego, la generación de electricidad, el uso recreativo y el abastecimiento para consumo humano. En cuanto al relieve, en la microcuenca se presentan pendientes pronunciadas, degradación de los suelos y erosión por actividades antrópicas y variaciones climáticas (AQUARISC, 2017).

Con base en los antecedentes y en la información suministrada por uno de los operadores

de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), los principales problemas de contaminación en la microcuenca (aguas arriba de la bocatoma), se deben a la presencia de potreros, cultivos y actividades de minería artesanal, que generan conflictos ambientales por el uso y disponibilidad del agua.

6.2 Estaciones de Muestreo

Para el desarrollo de este proyecto se realizaron dos visitas al lugar (2 de Agosto y 9 de octubre del 2017), en donde se determinaron cuatro estaciones de muestreo, las cuales fueron escogidas con base en un enfoque de cuenca, accesibilidad e interés local.

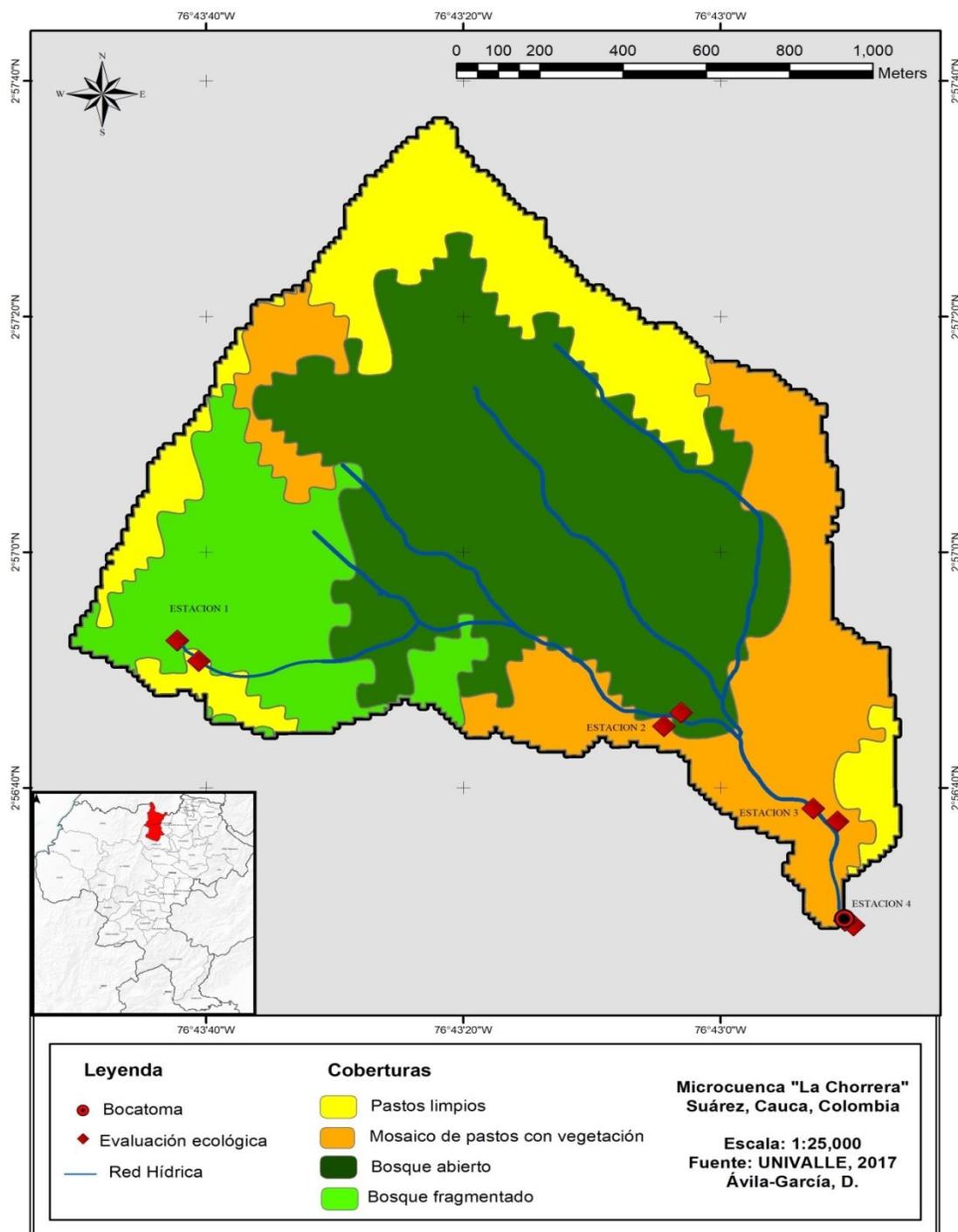
La evaluación ecológica se llevó a cabo con base en la aplicación de cuatro índices ecológicos de evaluación cualitativa: QBR, RQI, ECOSTRIMED y CERA-S, además de la recolección de muestras fisicoquímicas y biológicas (solo en el punto cercano a la bocatoma). De esta forma y bajo las recomendaciones de los índices, se delimitaron transectos de 50-100 m en cada uno de los cuatro puntos de la microcuenca y se diligenciaron los formatos de campo correspondientes para la evaluación de cada uno de los apartados (Anexo 1).

En la figura 2 se muestra el mapa de la microcuenca con las coberturas vegetales identificadas; los rombos rojos indican las estaciones de muestreo en los que se evaluó la calidad ecológica de la vegetación de ribera. Adicionalmente, en la Tabla 3 se presenta las altitudes y las coordenadas geográficas de las estaciones.

Tabla 3. *Altitud y coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo.*

Est. No	IDENTIFICACIÓN	ALTITUD m.s.n.m	INICIO		FINAL	
			COORDENADAS		COORDENADAS	
1	NACIMIENTO	1710	2°56'52.24"N	76°43'42.27"O	2°56'50.80"N	76°43'40.61"O
2	C. MEDIA A	1431	2°56'45.25"N	76°43'4.41"O	2°56'46.42"N	76°43'3.07"O
3	C. MEDIA B	1347	2°56'38.27"N	76°42'52.79"O	2°56'37.17"N	76°42'50.90"O
4	BOCATOMA	1270	2°56'28.35"N	76°42'49.66"O	2°56'28.75"N	76°42'50.32"O

Figura 2. Mapa de coberturas vegetales de la microcuenca “La Chorrera”, Suárez – Cauca, Colombia.



6.3 Parámetros de Investigación.

6.3.1 Calidad del bosque de ribera.

Para evaluar la calidad de la vegetación riparia, se aplicaron los índices QBR (Munné, Prat, & Solá, 1998), RQI (González et al., 2006) y CERA-S (Acosta, Ríos, Rieradevall, & Prat, 2009); con base en los formatos de campo sugeridos por los autores (Anexo 1).

6.3.2 Calidad Hídrica

6.3.2.1 Calidad Biológica

Para la evaluación de la calidad biológica de la Quebrada “La Chorrera”, se aplicaron los índice BMWP adaptado para Colombia: BMWP/Col (Roldán, 2003) y la segunda sección del protocolo CERA-S. Debido a que se trata de un río de montaña de composición rocosa y poco profundo se utilizó una red de pantalla para aumentar la probabilidad de colecta de todas las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en los puntos. Las estaciones de análisis fueron ubicadas en la cuenca media B y la bocatoma considerando la convergencia de vertientes y captación de agua. El estudio taxonómico de los MAE muestreados se realizó con base en la Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia expuesta por roldan en el año 1998, adicionalmente se contó con la asesoría del investigador Miller Guzmán experto en el tema.

6.3.2.2 Evaluación de la calidad del agua.

Se utilizó una sonda multiparamétrica para determinar los parámetros fisicoquímicos en la bocatoma: Temperatura, conductividad, sólidos totales disueltos (TDS), salinidad, OD y porcentaje de oxígeno de saturación.

En punto de la bocatoma, (estación 4) se tomaron muestras de agua en frascos de 1000 ml para la evaluación de los niveles de fosfatos (PO₄), nitritos (NO₃), nitratos (NO₂) y amoníaco

(NH₄), potencial de hidrogeno (pH), Turbiedad (NTU), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de oxígeno (DQO), Coliformes totales y Coliformes fecales. Las muestras recolectadas se mantuvieron en frío para su posterior análisis en laboratorio, resaltamos que estos análisis fueron realizados por el equipo investigador del proyecto AQUARISC y posteriormente nos compartieron dicha información, con el ánimo de realizar la evaluación de los índices de calidad y contaminación hídrica.

Los resultados de las muestras se analizaron con base en el índice de calidad de agua (ICA NSF) y los índices de contaminación (ICOTRO, ICOMO, ICOSUS, ICOpH).

6.3.3 Evaluación de la calidad ecológica de la vegetación de ribera.

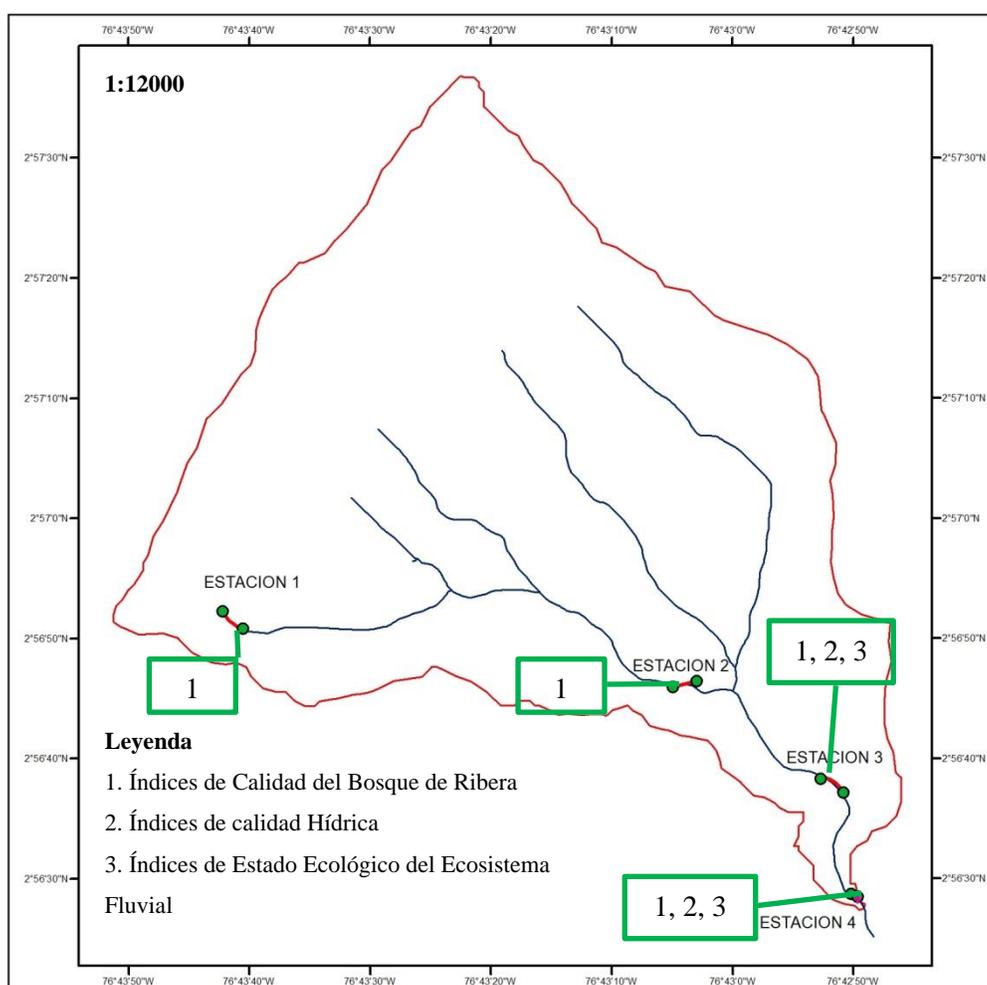
Para la determinación del estado ecológico del ecosistema se relacionaron los índices QBR y RQI, con el índice biótico BMWP/COL; es decir los resultados obtenidos de calidad del bosque de ribera con los resultados de calidad biológica, con base en el índice ECOSTRIMED.

La relación se obtuvo a través de un cuadro combinatorio, el cual fue modificado, partiendo de los diferentes índices de evaluación de calidad del bosque de ribera que se utilizaron. Además, se aplicó el protocolo CERA-S como complemento a los resultados anteriores.

7. RESULTADOS

Los índices y protocolos mencionados anteriormente se aplicaron en cada una de las cuatro estaciones de muestreo con el fin de identificar y determinar las alteraciones que pudieran afectar el estado ecológico del ecosistema fluvial. La figura 3 presenta los índices aplicados en cada una de las estaciones de monitoreo.

Figura 3. *Índices aplicados en las estaciones de monitoreo.*



7.1 Observaciones en Campo.

En la Tabla 5 se describe la ubicación, observaciones in situ y registro fotográfico de cada estación.

Tabla 4. *Observaciones en campo.*

Est.	Ubicación	Observaciones	Imágenes
E1	Cuenca alta (nacimiento)	Corredor ripario poco extenso, presencia de zonas de pastoreo, tanque de captación y provisión de agua y ejemplares de especies florísticas exóticas de los géneros (<i>Musa</i> , <i>Guadua</i> , <i>Persea</i>).	
E2	Cuenca media (Cuenca media A)	Corredor ripario amplio con una notoria diversidad florística y su conectividad con el bosque adyacente es casi total, camino real que atraviesa el canal de la quebrada (camino hacia una base militar) y un ejemplar de especie florística exótica del género (<i>Psidium</i>).	
E3	Cuenca media (Cuenca media B)	Corredor ripario estrecho, presencia de un cultivo de café que no deja margen a la vegetación de ribera en la parte derecha y la presencia de algunos ejemplares de especies florísticas exóticas de los géneros (<i>Musa</i> , <i>Guadua</i> , <i>Coffea</i>).	

Est.	Ubicación	Observaciones	Imágenes
E4	Cuenca Baja (Bocatoma)	Corredor ripario poco extenso con baja presencia de vegetación de ribera y con parches de vegetación, la morfología es de tipo confinada en ambas márgenes (pendientes sobrepasan los 45 grados) lo que dificulta la continuidad y conexión con los ecosistemas adyacentes, el cauce presenta una caída de agua de aproximadamente 20 metros, presencia de una estructura en concreto (Bocatoma) en el canal.	

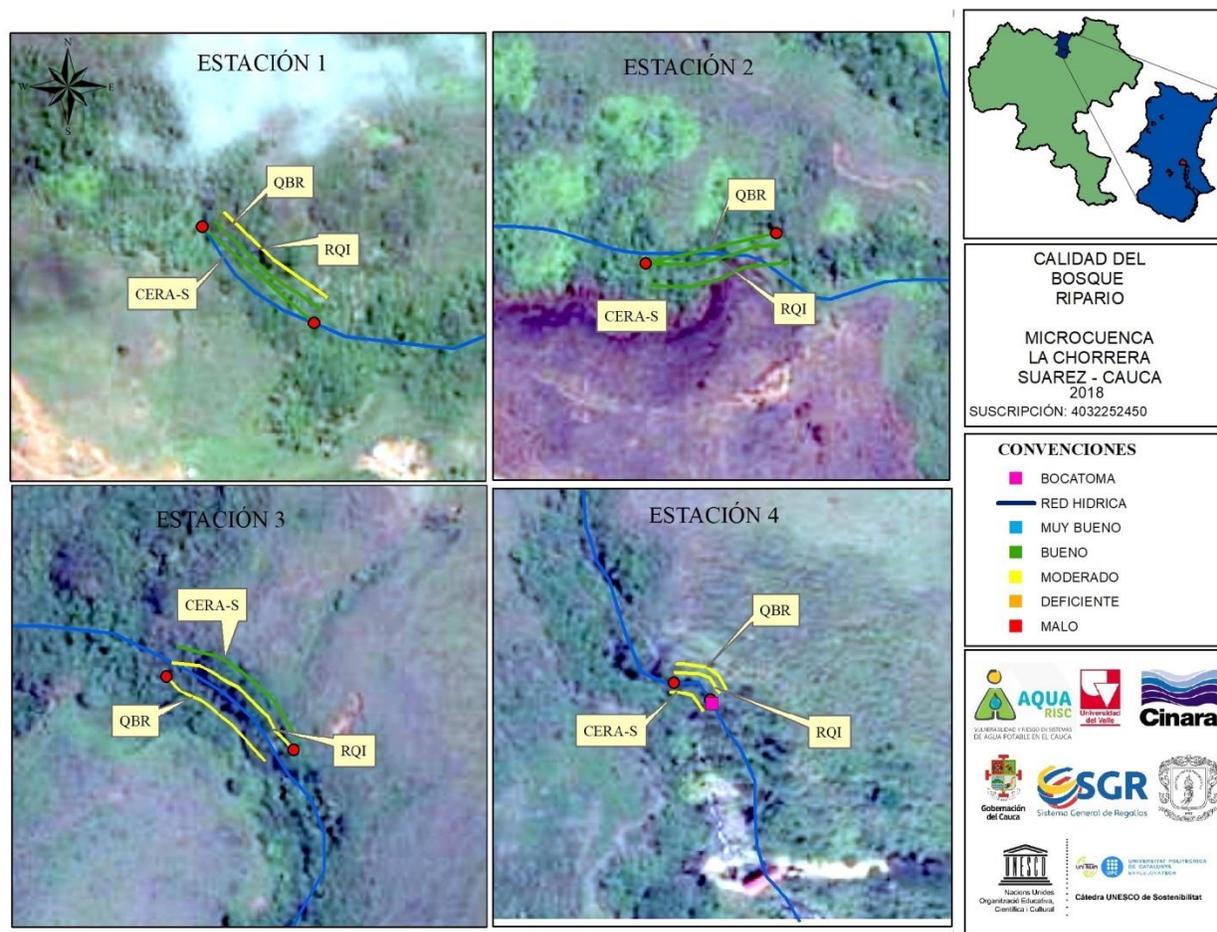
7.2 Evaluación de la Calidad del Bosque de Ribera

La figura 4 y la Tabla 6 describen los resultados obtenidos de la calidad del bosque de ribera en las diferentes estaciones a partir de los índices y protocolos aplicados

Tabla 5. *Calidad del bosque de ribera en las diferentes estaciones, según los índices evaluados.*

Est.	IDENTIFICACIÓN	ÍNDICES		PROTOCOLO
		RQI	QBR	CERA-S
1	NACIMIENTO	88	80	29
2	C. MEDIA A	100	85	35
3	C. MEDIA B	83	65	30
4	BOCATOMA	72	60	28

Figura 4. *Mapa de calidad del bosque ripario.*



7.3. Evaluación de la Calidad Hídrica

7.3.1 Evaluación de la calidad Biológica

En la siguiente tabla se presenta la calificación de calidad biológica obtenida en las estaciones 3 (cuenca media) y 4 (bocatoma), con base en la evaluación del índices BMWP/COL y la segunda sección del Protocolo CERA-S, que evalúa la calidad biológica.

Tabla 6. *Calidad ecológica de las estaciones E3 y E4.*

Est.	IDENTIFICACIÓN	ÍNDICE BMWP/COL	PROTOCOLO CERA-S
3	C. MEDIA B	MUY BUENA	EXCELENTE
4	BOCATOMA	MUY BUENA	EXCELENTE

7.3.1.1 Evaluación calidad biológica con base en el índice BMWP/COL

Las tablas 8 y 9 muestran la clasificación taxonómica hasta nivel de familia de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE) identificados hasta nivel de familia, en la estación E3 (cuenca media B) y E4 (Bocatoma) y su evaluación según el índice BMWP/COL.

Tabla 7. *Clasificación taxonómica de MAE y Evaluación del índice BMWP/COL, Estación E3.*

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	BMWP/COL
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	7
			Calamoceratidae	10
			Philopotamidae	9
			Leptoceridae	8
		Ephemeroptera	Oligoneuriidae	10
			Leptohyphidae	7
		Plecoptera	Baetidae	7
			Perlidae	10
		Odonata	Calopterygidae	7
			Libellulidae	6
			Gomphidae	10

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	BMWP/COL
			Elmidae	6
		Coleoptera	Ptilodactylidae	10
		Diptera	Chironomidae	2
		Hemiptera	Naucoridae	7
			Veliidae	8
		Lepidoptera	Pyralidae	5
			Total	129

Tabla 8. Clasificación taxonómica de MAE y Evaluación del índice BMWP/COL, Estación E4.

PHYLUM	Clase	Orden	Familia	BMWP/COL		
Arthropoda	Insecta	Plecoptera	Perlidae	10		
			Elmidae	6		
		Coleoptera	Dryopidae	7		
			Ptilodactylidae	10		
		Hemiptera	Naucoridae	7		
			Veliidae	8		
		Odonata	Calopterygidae	7		
			Libellulidae	6		
			Baetidae	7		
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9		
			Leptohiphidae	7		
			Polycentropodidae	9		
		Trichoptera	Odontoceridae	10		
			Hydropsychidae	7		
			Calamoceratidae	10		
			Tipulidae	3		
		Diptera	Chironomidae	2		
			Simuliidae	8		
		Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	7
					Total	140

7.3.1.2 Evaluación calidad biológica con base en el protocolo CERA_S

Las Tablas 10 y 11 muestran la clasificación taxonómica hasta nivel de familia de los MAE identificados en la estación E3 (cuenca media B) y E4 (Bocatoma) y su evaluación de acuerdo con el protocolo CERA-S.

Tabla 9. *Clasificación MAE y calidad biológica en la Estación E3.*

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	CERA-S
		Trichoptera	Leptoceridae	EXCELENTE
		Plecoptera	Perlidae	EXCELENTE
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Elmidae	BUENA
		Ephemeroptera	Leptohiphidae	BUENA
		Diptera	Chironomidae	MODERADA

Tabla 10. *Clasificación MAE y Calidad biológica en la Estación E4.*

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	CERA-S
		Ephemeroptera	Leptophlebitidae	EXCELENTE
		Plecoptera	Perlidae	EXCELENTE
		Coleoptera	Elmidae	BUENA
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Leptohiphidae	BUENA
		Diptera	Chironomidae	MODERADA
		Diptera	Simuliidae	MODERADA
		Ephemeroptera	Baetidea	MODERADA

7.3.2 Evaluación de la Calidad del Agua con Base en los Resultados Físicoquímicos.

Para la Quebrada “La Chorrera” los índices de contaminación y de calidad hídrica, en general estuvieron entre los rangos permitidos de acuerdo a las Resoluciones N° 2115 de 2007 y 0631 de 2015. En los siguientes apartados se describen los resultados de la estación 4 (bocatoma)

Los resultados de las pruebas físicoquímicas se presentan en las Tablas 12, 13 y 14; de

donde se evidencia las variables de importancia a la hora de realizar un estudio de calidad hídrica, brindando información sobre la calidad del agua en la estación 4.

Tabla 11. *Análisis fisicoquímicos tomados en campo (GEA).*

Jornada	FECHA	T° Hca (°c)	Cond (µsm/cm)	TDS (mg/L)	Sal (%)	OD (mg/L)	Od% (%)
1	2016/10/11	19.58	85.38	44.93	0.04	8.00	101.48
2	2017/09/19	19.83	77.40	40.73	0.04	8.30	104.90

Tabla 12. *Análisis Fisicoquímico del laboratorio (GEA).*

Jornada	FECHA	PO4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NH4 (mg/L)
1	2016/10/11	0.12	0.07	2.30	0.01
2	2017/09/19	0.17	0.04	2.67	0.05

Tabla 13. *Análisis fisicoquímicos por parte de la CRC.*

JORNADA	FECHA	PH pH	TURB (NTU)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Col. Totales NMP/100 MI	Col. Fecales NMP/100 mL
1	2016/10/11	7.66	1.9	< 0.9	< 15.0	6900	300
2	2017/09/19	6.95	0.5	1	< 15.0	16300	300

7.3.2.1 índices de calidad e índices de contaminación hídrica.

Los resultados del ICA-NSF e ICOs, indican que esta fuente presenta características de buena calidad hídrica. No obstante, el índice ICOTRO indica la presencia de un estado eutrofia debido a altos niveles de Fosfatos (PO4), posiblemente provenientes de los cultivos adyacentes. (Tablas 15 y 16).

Tabla 14. *Resultados ICA-NSF.*

INDICE / JORNADA	JORNADA 1	JORNADA 2
ICA NSF	79.11	79.77

Tabla 15. *Resultados índices de contaminación.*

INDICE / JORNADA	JORNADA 1	JORNADA 3
ICOMO	0.24	0.31
ICOSUS	0.11	0.10
ICO pH	0.01	0.00
ICOTRO	0.12	0.17

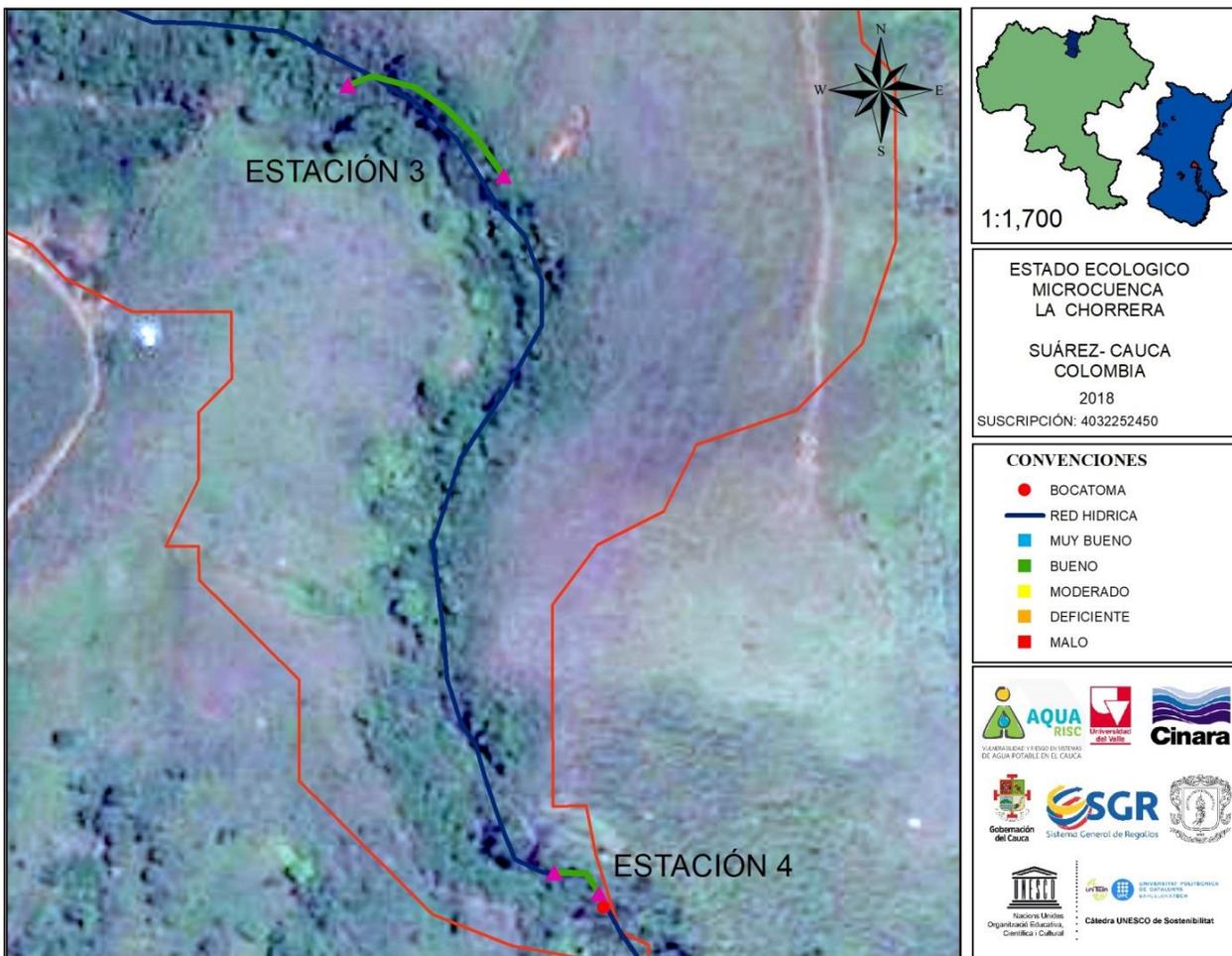
7.4 Evaluación del Estado Ecológico del Ecosistema

En la Tabla 17 se muestra los resultados del estado ecológico de las estaciones E3 y E4, a partir de la evaluación del Índice ECOSTRIMED y el Protocolo CERA-S, los cuales coinciden en los resultados de ambas estaciones, indicando un buen estado ecológico del ecosistema fluvial (figura 5).

Tabla 16. *Estado ecológico del ecosistema.*

ESTACIÓN	IDENTIFICACIÓN	ECOSTRIMED		CERA-S
		QBR-BMWP/COL	RQI-BMWP/COL	
3	C. MEDIA B	BUENA	BUENA	BUENA
4	BOCATOMA	BUENA	BUENA	BUENA

Figura 5. Mapa Estado Ecológico del Ecosistema.



8. DISCUSIÓN

A través del tiempo los países han procurado aumentar su crecimiento económico. El actual modelo capitalista y patrones de consumo han ocasionado una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales y el ambiente; esta dinámica ha transformado de manera considerable los ecosistemas, afectando de forma directa e indirecta la relación entre la sociedad, la economía y la naturaleza, los cuales son los pilares del desarrollo sostenible (Rodríguez, 2014). El ministerio del medio Ambiente y Desarrollo Sostenible dio a conocer que durante el año 2017 Colombia perdió 219973 hectáreas de bosque, y adicióno que las principales causas de este fenómeno son la praderización, la especulación sobre las tierras, la ganadería extensiva y los cultivos ilícitos. La agricultura, la ganadería y la deforestación en general ha transformado el ecosistema de la microcuenca de la Quebrada “La Chorrera”. Con base en los resultados de los índices y protocolos, las modificaciones en el cauce debido a la presencia de estructuras o actividades aledañas a la ribera: 1) bocatoma, 2) tanques de captación y aprovisionamiento de agua, 3) mangueras, 4) apertura de caminos, 5) zonas de pastoreo intensivo y 6) actividad agrícola; han afectado directamente la naturalidad del canal y la pérdida en la continuidad y calidad de la vegetación de ribera.

La distribución de coberturas vegetales de la microcuenca “La Chorrera”, indican que la ganadería y la agricultura, ocupan alrededor del 40% del área de estudio. Estas actividades figuran entre los sectores de mayor impacto para los recursos hídricos, debido a que afectan al ciclo natural del agua e impiden que se renueven los recursos hídricos tanto de superficie como subterráneo. Además contribuyen a la pérdida de biodiversidad por las extensiones de terreno que se necesitan y en la eutrofización por la utilización de fertilizantes y pesticidas (FAO, n.d.; FAO, 2006), lo que explicaría los altos niveles de fosfatos en la estación 4.

Por otra parte, la variabilidad climática (Fenómenos El Niño y La Niña); son cada vez más frecuentes e intensos, lo cual altera gravemente el ecosistema (IDEAM, 2015; NOAA, 2018). En el caso del fenómeno del Niño, desde el año 1950 se han registrado 22 episodios con intensidad promedio de 10 meses (NOAA, 2018), lo que ha ocasionado una disminución notoria en la cantidad de agua en las fuentes y en muchas ocasiones estas temporadas finalizan en incendios naturales o provocados que afectan la cobertura vegetal.

Por su parte, el fenómeno de la Niña ocasiona precipitaciones intensas que causan deslizamientos, avalanchas y desbordamientos. La NOAA (2018) ha reportado 18 episodios de este fenómeno desde el año 1950, con una intensidad promedio de 12 meses. En algunos casos, se ha observado que los efectos de estos fenómenos tienen mayor repercusión en las zonas donde el ser humano ha realizado alteraciones considerables a los ecosistemas. Como ejemplo de lo anterior se tiene el caso de la tragedia en Mocoa – Putumayo en el año 2017, donde ocurrió un desastre natural (avenida torrencial) que arrasó con parte de esta comunidad, German Vargas Cuervo, profesor del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional menciona que esta tragedia pudo haberse evitado si se hubiese respetado las rondas hídricas, debido a la capacidad de retención y amortiguación que estas poseen (El Tiempo, 2017).

Específicamente, en la microcuenca “La Chorrera”, se observaron alteraciones en el bosque de ribera causadas por prácticas agrícolas y ganaderas que intensifican el problema de la calidad y suministro de agua durante las épocas de sequías y lluvias (AQUARISC, 2017).

También se identificaron zonas agrícolas y ganaderas que incumplen con lo establecido en el decreto N°1449 de 1977, el cual estipula que los propietarios de predios están obligados a mantener en cobertura boscosa dentro del predio las áreas forestales protectoras, además de conservarse una extensión de por lo menos de 100 metros en los nacimientos y una faja no

inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de los lagos o depósitos de agua.

La protección de la microcuenca “La Chorrera” es fundamental, entre otras cosas, debido a que es una de las principales fuentes abastecedoras del acueducto municipal de Suárez-Cauca. De esta forma, sería importante la implementación de acciones de restauración o rehabilitación del bosque de ribera con la finalidad de mejorar la calidad de los suelos aumentando su permeabilidad y así controlar el arrastre de sedimentos por escorrentía, el retraso en la formación de avenidas, y una disminución del porcentaje de agua de lluvia que llega a los cauces. Asimismo, la elevada rugosidad de los suelos riparios disminuye la velocidad de las escorrentías o aguas de inundación, favoreciendo su infiltración y la recarga de los acuíferos que en épocas de sequía contrarrestaran la disminución del caudal. Finalmente, la presencia de la vegetación contribuye a la estabilidad de las orillas a través de su sistema radical, disminuyendo el riesgo de erosión por la acción de la corriente. La presencia de raíces aumenta la cohesión del suelo y su resistencia, a la vez que disipa la energía y velocidad de las aguas (González, 2002).

Si estas alteraciones siguen presentándose de manera más frecuente e intensa sobrepasaran la capacidad de regeneración natural de dichos ecosistemas ocasionando problemas notorios en cuanto al estado ecológico de estos y del agua que poseen dichas fuentes.

8.1 Evaluación de la Calidad del Bosque de Ribera

Los resultados obtenidos a partir de los índices QBR, RQI y Protocolo CERA-S (primera sección) indican que la microcuenca disminuye la calidad de los ecosistemas riparios a medida que descende en un gradiente altitudinal. Lo anterior, se puede deber a la presión de las actividades antrópicas (ganadería, agricultura y minería) y los factores climáticos, lo cual

establece una tendencia de degradación de la ribera aguas abajo del nacimiento, promovida por las condiciones morfológicas del terreno (disminución moderada de las pendientes). Esto es similar a la teoría de río continuo planteada por Vannote et al (1980) y consistente con los resultados obtenidos por Gualdoni, Duarte y Medeot (2011)

El análisis de calidad del bosque marginal, reveló condiciones más saludables en las estaciones E1 y E2 situadas en cuenca alta y media, a diferencia de las estaciones E3 y E4 que se ubican en cuenca media y baja respectivamente. En estado natural, las riberas tienden a estar cubiertas por vegetación siempre que lo permita el sustrato, la recurrencia de crecientes y la geomorfología (Munné et al., 1998). El área estudiada se caracterizó por poseer poca vegetación riparia, debido a sus condiciones geomorfológicas, en las que predominan en casi su totalidad laderas pronunciadas y sustratos rocosos; además de numerosas caídas de agua a lo largo del cauce. Se detectaron impactos antrópicos asociados a alteraciones en la cobertura vegetal y modificaciones del canal fluvial, entre ellos, la agricultura y ganadería.

El bosque de ribera ofrece múltiples beneficios hidrológicos como la alta capacidad de retención e infiltración, lo que representa una gran reserva hídrica. Muchas de las razones hidrológicas y ecológicas antes apuntadas, justifican la restauración o conservación de las riberas debido a que tienen una gran trascendencia económica, especialmente desde un punto de vista de gestión sostenible de los ecosistemas naturales y suponiendo un enorme ahorro en inversiones para el mantenimiento de los cauces y una riqueza natural de agua, suelo, vegetación y fauna riparia (González, 2002).

De acuerdo con la evaluación de los índices y el protocolo, se observa que el índice RQI da una puntuación y calificación más baja con respecto a la calidad del bosque de ribera de las estaciones de estudio. Lo que se explica por la evaluación de un mayor número de parámetros; y

que, a diferencia de los otros dos métodos de evaluación, el RQI es un poco más robusto y considera parámetros de la vegetación que los otros dos métodos no evaluaban, tales como las dimensiones del terreno con vegetación riparia, diversidad de edades, estratos, regeneración natural y conectividades (González et al., 2006).

8.2 Evaluación de la calidad Hídrica

8.2.1 Calidad Biológica

La composición de las comunidades de macroinvertebrados es un buen reflejo de la calidad de los ecosistemas acuáticos; por ello los métodos de evaluación basados en dichos organismos han sido ampliamente utilizados desde hace varias décadas como una parte integral del monitoreo de la calidad del agua (Roldán, 2016). Este trabajo determinó la calidad biológica de las estaciones E3 y E4 ubicadas en la cuenca media y baja de la zona de estudio. Con base en los resultados obtenidos a partir de la evaluación del índice BMWP/COL y la evaluación biológica propuesta en el protocolo CERA-S, se obtuvieron resultados que describen una calidad biológica muy buena o excelente en ambas estaciones. Lo anterior se basa en que la mayoría de los organismos recolectados presentan características de tolerancia mínima a la contaminación y perturbaciones, es decir, son organismos propios de aguas oligotróficas bien oxigenadas (Roldán, 1988), lo que es comprensible si se toma en cuenta que es un sistema lótico con pendientes muy pronunciadas, extractos rocosos y con múltiples accidentes geológicos a lo largo del cauce, que oxigenan mecánicamente el medio y ayudan a conservar las características de buena calidad en la fuente (Posada, Mojica, Pino, Bustamante, & Monzón, 2013).

Como se mencionó anteriormente, las aguas oligotróficas se caracterizan por poseer individuos poco tolerantes a las perturbaciones además de ser fuentes con un alto porcentaje de oxígeno (Roldán, 1988), las estaciones en estudio se caracterizaron por poseer estas

características. De acuerdo con lo anterior y con base en los resultados los sitios muestreados presentaron una calidad de agua en buenas condiciones, lo cual coincide con la evaluación del protocolo CERA-S y con la evaluación del índice BMWP/COL.

Por otro lado, con base en la teoría de río continuo, las comunidades de macroinvertebrados predominantes en las cabeceras son de tipo colector y fragmentador lo que concuerda con las características de los MAE colectados (Familias: Perlidae, Ptilodactylidae, Odontoceridae, Calamoceratidae, Oligoneuriidae y Gomphidae), las cuales recibieron un valor de 10 en la evaluación del índice BMWP/COL, que en esta escala es el valor que se le otorga a las familias menos tolerantes a la contaminación según lo expuesto por Roldán (2003).

8.2.2 Calidad Fisicoquímica del Agua.

En general, la calidad fisicoquímica de la Quebrada “La Chorrera” es buena y cumple con lo establecido en la normatividad colombiana, lo cual concuerda con los resultados obtenidos a partir de la evaluación de calidad biológica. No obstante, el Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO) indicó una elevada carga de nutrientes que pueden provenir de agentes externos o internos como la erosión, vertimientos domésticos o la utilización de fertilizantes simples y complejos (NPK) que podrían llegar al cauce por medio del proceso de escorrentía (Mazzeo et al., 2002). En la zona se identificaron presencia de potreros y cultivos agrícolas cercanos al cauce, lo que valida lo ya mencionado.

De acuerdo a lo observado en campo y los resultados de los índices de contaminación hídrica, lo anterior no ha tenido afectación grave evidente sobre la fuente, debido a que las características más notorias de un estado trófico de eutrofización, son la colmatación del espejo de agua por macrófitas acuáticas, bajos niveles de oxígeno, y altos niveles de turbiedad.

8.3 Estado Ecológico del Ecosistema Fluvial.

Con base en la evaluación del protocolo CERA-S y el índice ECOSTRIMED, el estado ecológico del ecosistema fluvial de las estaciones E3 y E4 es bueno. La microcuenca se caracterizó por poseer una calidad buena y aunque en ninguna estación se obtuvo el máximo estado ecológico del ecosistema fluvial (estado excelente o muy bueno), la degradación del bosque de ribera debido a la agricultura, la ganadería y las modificaciones del canal, fue lo que más influyó en el deterioro del estado ecológico.

Es de resaltar que al determinar el estado ecológico del ecosistema fluvial el índice biótico toma mayor relevancia, puesto que es imposible considerar que un río tenga un buen estado ecológico si el índice biológico es bajo. No obstante, el papel de la ribera también es importante, debido a que si se encuentra degradada aunque la calidad del agua sea buena, el estado ecológico se considerará regular (Acosta et al., 2009).

Las alteraciones en la vegetación marginal no sólo disminuyen el estado ecológico, sino que además son difíciles de revertir debido al tiempo requerido para recuperar un bosque, que en algunos sectores ha sido gravemente perturbado (Gualdoni et al., 2011). Sumado a ello, un buen estado del entorno natural incide de manera decisiva en la calidad ecológica del cauce en términos de biota, cantidad y calidad de agua (Bonada et al., 2002).

8.4 Evaluación Metodológica.

Aunque las diferentes metodologías aplicadas en este trabajo, se basan en diferentes parámetros, los resultados fueron similares en cada una de las estaciones.

Los resultados de este trabajo indican que el índice RQI es un poco más robusto en comparación con los otros debido a que evalúa un mayor número de parámetros y está más enfocado al diagnóstico para posteriormente proponer estrategias de rehabilitación o

restauración. Sin embargo, algunas de sus desventajas es que este requiere un mayor conocimiento en la identificación de especies vegetales autóctonas e introducidas, por lo que el acompañamiento de algún experto local es fundamental para la correcta evaluación de este índice. Por otra parte, el índice CERA-S está principalmente enfocado a las condiciones de los ríos andinos por lo que las variables consideradas pueden estar mejor adaptadas en comparación con el RQI y el QBR, los cuales inicialmente se desarrollaron para ríos mediterráneos, aunque también se han aplicado en diferentes lugares en América Latina con buenos resultados debido a la facilidad de su aplicación (Semana Sostenible, 2013).

Los resultados de este estudio, de acuerdo con los índices y el protocolo son satisfactorios en términos de calidad y aprovisionamiento de agua de esta fuente, dando a entender que la microcuenca La Chorrera cuenta con un estado ecológico bueno y que los factores socioambientales no la han afectado de manera considerable. Sin embargo, estos resultados pudieron haberse visto influenciados por la geomorfología de la zona, la cual presentaba pendientes pronunciadas que posiblemente dificulten la expansión de actividades económicas. Por otra parte, es de resaltar que las características sociales en el municipio de Suárez-Cauca son complejas debido a que algunos habitantes desconocen la normatividad en términos de protección de las rondas hídricas y no son conscientes de los daños ambientales que pueden generar al realizar de forma inadecuada sus actividades económicas, contribuyendo a la pérdida de área de cobertura vegetal natural y generando modificaciones en el canal fluvial. Esta problemática se debe enfrentar antes de que afecte de forma considerable el estado ecológico del ecosistema.

Finalmente, con la finalidad de poder comparar los resultados, es recomendable utilizar varios índices para la evaluación ecológica, que mezclen que relaciones evaluaciones cualitativas

y cuantitativas para realizar un estudio más objetivo. Por otro lado, antes de llevar a cabo las evaluaciones en campo, sería conveniente identificar sitios estratégicos con base en la información cartográfica e histórica y listados florísticos de la zona de estudio.

8.5. Estrategias de conservación, protección, restauración o rehabilitación en las zonas impactadas

Con base en las condiciones morfológicas, ambientales, sociales y culturales de la zona y desde el punto de vista de la ingeniería ambiental, se recomienda la protección de este lugar fructuario de servicios ambientales por medio de la recuperación y ampliación de las áreas ribereñas, donde se respete la ronda hídrica de por lo menos de 30 m a cada lado del margen de la quebrada, priorizando las estaciones E1, E3 y E4, donde se encontraron el mayor número de alteraciones por actividades antrópicas.

Creación e implementación de estrategias de conservación, protección y restauración ecológica a lo largo del cauce de la quebrada “La Chorrera”. Debido a que, si se tiene una buena calidad del bosque de ribera, tendrá trascendencia económica durante su proceso de potabilización, especialmente desde un punto de vista de gestión sostenible de los ecosistemas naturales.

Sería recomendable incentivar y mejorar la percepción y valoración de los recursos naturales por parte de los actores locales, con el objetivo de generar un compromiso de protección y preservación que garantice la pervivencia de los recursos naturales en el tiempo con base en capacitaciones, talleres y apoyos institucionales que fortalezcan la comunicación y el capital social.

Sería importante realizar estudios sociambientales en las microcuencas: “La Cabuyera” y “San Miguel”, las cuales son fuentes que también contribuyen al abastecimiento del acueducto

municipal de Suárez – Cauca, con el fin de establecer el estado ecológico de las mismas para así poder identificar y mitigar los problemas que afectan el abastecimiento normal de agua potable.

9. CONCLUSIONES

La calificación de los índices QBR, RQI y la primera sección del protocolo CERA-S variaron entre “calidad buena” y “calidad moderada” en las diferentes estaciones estudiadas en la microcuenca “La Chorrera”, lo cual indica que la vegetación de ribera presenta una mayor degradación en la cuenca baja. Específicamente, se identificó que las estaciones E3 y E4 (Cuenca media y Cuenca baja) presentan alteraciones generadas por factores antrópicos como la ganadería, agricultura, modificaciones del canal fluvial y afectaciones por eventos de los Fenómenos El Niño y La Niña.

De acuerdo a los resultados de parámetros fisicoquímicos y de calidad biológica, esta fuente se caracterizó por poseer una calidad de agua buena, con aguas muy oxigenadas, pH neutros y con organismos característicos de aguas oligotróficas. De acuerdo a la Resolución 2115 de 2007, esta agua posee características microbiológicas de agua cruda, que para el consumo humano solo requiere desinfección.

Mediante el índice ECOSTRIMED y el protocolo CERA-S se valoró el estado ecológico del ecosistema como bueno. Sin embargo, aunque los índices QBR, RQI y CERA-S (primera sección) determinaron cierto grado de deterioro en el bosque de ribera, los índices BMWP/COL y CERA-S (segunda sección) indicaron que la calidad de agua es excelente en las dos estaciones muestreadas, lo que predominó a la hora de determinar el estado ecológico del ecosistema.

Se determinó que las actividades antrópicas predominantes de la zona de estudio, fueron la agricultura y la ganadería, las cuales ejercen fuertes presiones sobre los ecosistemas y perjudican la calidad y cantidad de los recursos hídricos. En el caso del ecosistema ripario, algunos de los actores locales han ampliado el terreno para sus actividades agrícolas o ganaderas, lo cual contribuye a la fragmentación del bosque natural y a la pérdida de biodiversidad debido a

que no se conserva el área de reserva forestal estipulada en el decreto N°1449 de 1977. Por otra parte, la utilización de fertilizantes y pesticidas en la zona puede provocar la eutrofización de los cuerpos de agua a mediano o largo plazo en sitios desprovistos de vegetación riparia.

Las presiones sociales en el entorno del municipio de Suarez-Cauca son complejas, debido a que realizan de forma inadecuada, contribuyendo a la pérdida de área de cobertura vegetal natural y generando modificaciones en el canal fluvial. Por lo cual se debe generar alternativas que enfrenten esta problemática antes de que afecte de forma considerable el estado ecológico del ecosistema.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), 35–64. Retrieved from [http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica_28\(1\)_04_Acosta.pdf](http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica_28(1)_04_Acosta.pdf)
- Agboola, J. I. (2014). Technological Innovation and Developmental Strategies for Sustainable Management of Aquatic Resources in Developing Countries. *Environmental Management*, 54(6), 1237–1248. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0358-z>
- AQUARISC. (2017). *Informe de Diagnostico de los Sistemas de Abastecimiento de Agua Para el Municipio de Suárez, Presentado por CINARA*. Popayán.
- Arismendi, E. A. (2008). *DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA MENSULI*. Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga. Retrieved from <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/diagambcuencaquebradamensuli.pdf>
- ASGM. (2012). *SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA*. Bogotá. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercuro/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf
- Barquín, J., Fernández, D., Alvarez, M., & Peñas, F. (2011). Riparian quality and habitat heterogeneity assessment in Cantabrian rivers. *Limnetica*, 30(2), 329–346. Retrieved from http://ddd.uab.cat/pub/limnetica/limnetica_a2011v30n2/limnetica_a2011v30n2p329.pdf
- Beleño, I. (2011). El 50% del agua en Colombia es de mala calidad. Retrieved July 23, 2017, from <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/el-50-del-agua-en-colombia-es-de-mala-calidad/>
- Bonada, N., Prat, N., Munné, A., Rieradevall, M., Alba-Tercedor, J., Álvarez, M., ... Zamora-Muñoz, C. (2002). Criterios para la selección de condiciones de referencia en los ríos mediterráneos. Resultados del proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21(3–4), 99–114. Retrieved from <http://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-21-2-p-99.pdf>
- Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la UPC. (2016). Regeneración y reuso del agua de escorrentía y de drenaje en terreno agrícola a partir de sistemas naturales combinados de tratamiento de aguas (REAGRITECH). Retrieved May 16, 2018, from <https://www.unescosost.org/project/reagritech/>

- Congreso de Colombia. LEY N°99 (1993). Colombia. Retrieved from <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>
- CONGRESO DE COLOMBIA. LEY N°373, Pub. L. No. 43058, Diario Oficial 1 (1997). Colombia. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Congreso de la República. LEY 1450, Diario Oficial § (2010). Colombia. Retrieved from https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/docs/ddr/CompiladoNormativo_Parte3.pdf
- Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J., & Gurnell, A. M. (2007). Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews*, 84(1–2), 56–86. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2007.05.004>
- Corroto, F., Yalta, J. R., Vásquez, H. V., & Gamarra, O. A. (2016). Evaluación de la calidad ecológica del agua en la cuenca alta del río Imaza (Perú). *INDES Revista de Investigación Para El Desarrollo Sustentable*, 2(2), 20–29. Retrieved from <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDES/article/view/71/39>
- CRC. (2013). *Plan de Gestión Ambiental Regional del Cauca PGAR 2013-2023*. Popayan. Retrieved from <http://www.cvc.gov.co/portal/index.php/es/asi-es-cvc/funciones-corporacion>
- EL HERALDO. (2015, August 12). En Colombia la distribución del agua es desigual | El Heraldo. *Elheraldo.Co*, p. Agosto. Retrieved from <https://www.elheraldo.co/nacional/en-colombia-la-distribucion-del-agua-es-desigual-211180>
- El País. (2017). El impresionante cambio de Salvajina entre la sequía y el invierno. Retrieved April 5, 2018, from <http://www.elpais.com.co/california/el-impresionante-cambio-de-salvajina-entre-la-sequia-y-el-invierno.html>
- El Tiempo. (2017). ‘Cambio climático y lluvias, entre las causas del desastre’ de Mocoa. Retrieved June 18, 2018, from <http://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/explicacion-cientifica-de-la-tragedia-en-mocoa-76390>
- Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de Ríos Andinos (CERA-S)*. USFQ, UB, AECID, FONAG. Quito. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Esquivel, M. A., Merino, M. C., Restrepo, J. J., Narváez, A., Polo, C., Plata, J., & Puentes, V. (2014). Estado de la Pesca y la Acuicultura en Colombia. *AUNAP*, *1*, 1–26.
- FAO. (n.d.). Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Retrieved April 16, 2018, from <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s11.htm>
- FAO. (2002). El agua: Un recurso inapreciable y limitado. Retrieved June 19, 2018, from <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0210sp1.htm>
- FAO. (2006). La ganadería amenaza el medio ambiente. Retrieved April 16, 2018, from <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos*. Catalunya. Retrieved from https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/2474/JGarcia_and_ACorzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Giaccio, G., Laterra, p, & Cabria, F. (2017). Floristic associations and filtering ability of riparian vegetation strips. *PHYTON*, *9457(86)*, 112–123. Retrieved from <http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol86/Giaccio.pdf>
- González, M. (2002). *LAS RIBERAS, ELEMENTOS CLAVE DEL PAISAJE Y EN LA GESTIÓN DEL AGUA*. Retrieved from <http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/educacionambiental/importanciabosquesribera.pdf>
- González, M., & García, D. (2007). *RESTAURACIÓN DE RÍOS Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Madrid. Retrieved from http://www.mapama.gob.es/es/agua/formacion/26_Guia_Metodologica_tcm30-214295.pdf
- González, M., & García, D. (2011). Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica*, *30(2)*, 235–254. Retrieved from <http://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-30-2-p-235.pdf>
- González, M., García, D., Lara, F., & Garilleti, R. (2006). Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la directiva marco del agua. *Ingeniería Civil*, *1(143)*, 97–108. Retrieved from <http://www.chduero.es/acciona5/metodologia/rqi.pdf>
- Gualdoni, C. M., Duarte, C. A., & Medeot, E. A. (2011). Estado ecológico de dos arroyos serranos del sur de Córdoba , Argentina. *Ecología Austral*, *21(5804)*, 149–162.

- Guevara, G. (2013). Evaluación ambiental estratégica para cuencas prioritarias de los Andes colombianos: dilemas, desafíos y necesidades. *Acta Biológica Colombiana*, 19(1), 11–24. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/abc.v19n1.38027>
- IDEAM. (2015). *FENÓMENO EL NIÑO CONTINÚA*. Bogota D.C. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/566699/CP++ENOS++06++Junio.pdf/049f1473-ed8a-469e-9962-797f3aa0ff0d?version=1.0>
- Joaquí, D. S., & Figueroa, C. A. (2014). Factores que determinan la resiliencia socio-ecológicas para la alta montaña andina. *Revista Ingenierías*, 13(25), 45–55. Retrieved from <http://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/995/987>
- Joaqui, S. C., Martinez, J. P., Otero, J. D., Valencia, M. P., & Figueroa, A. (2014). *ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE ALERTAS TEMPRANAS PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA*. Universidad del Cauca, Popayán.
- Loiza, W., Carvajal, Y., & Ávila, Á. J. (2014). Evaluación Agroecológica de los Sistemas Productivos Agría en la Microcuenca Centella (DAGUA, COLOMBIA). *Colombia Forestal*, 17(2), 161–179. <https://doi.org/dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a03>
- Lovell, S. T., & Sullivan, W. C. (2005). Environmental benefits of conservation buffers in the United States: Evidence, promise, and open questions. *ELSEVIER*, 112(2006), 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.002>
- Mazzeo, N., Clemente, J., García, F., Gorga, J., Kruk, C., Larrea, D., ... Scasso, F. (2002). Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. In A. Domínguez & R. G. Prieto (Eds.), *Perfil Ambiental* (pp. 39–55). Montevideo: Nordan-Comunidad. Retrieved from <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/pasantias/eutrofizacion.pdf>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. DECRETO N°1323, Diario Oficial § (2007). Colombia. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1323_2007.pdf
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Decreto Numero 3930, Instituto Nacional de Salud § (2010). Retrieved from <http://www.ins.gov.co:81/normatividad/Decretos/DECRETO 3930 DE 2010.pdf>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución N°330, Pub. L. No.

- 50267, Diario Oficial (2017). Colombia. Retrieved from
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto N°1640, Pub. L. No. Decreto N°1640, Minambiente 1 (2012). Colombia. Retrieved from
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución N°0631, Pub. L. No. 0631, MINAMBIENTE 1 (2015). Colombia. Retrieved from
http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=d195ba34-a531-4d91-bebf-e233a52b5300&groupId=24732
- Ministerio de la Protección Social. DECRETO N°1575, Diario Oficial § (2007). Colombia. Retrieved from
<http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Disponibilidad-del-recurso-hidrico/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Ministerio de la Protección, Social, & Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución N°2115, Minambiente § (2007). Colombia: minambiente.gov.co. Retrieved from
http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislación_del_agua/Resolución_2115.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente. DECRETO N°1600, IDEAM § (1994). Colombia. Retrieved from
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/536020/Decreto+1600+de+1994.pdf/1a4cdca5-fc09-43bc-93ce-5845c818ec2e>
- Ministerio del Medio Ambiente, & IDEAM. RESOLUCIÓN N°104, Minambiente § (2003). Colombia. Retrieved from
http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_104_de_2003.pdf
- Ministro de Salud y Protección Social. Circular externa N° 00000047, Pub. L. No. 00000047, Diario Oficial 1 (2014). Colombia. Retrieved from <https://diario-oficial.vlex.com.co/vid/circular-externa-2014-524796170>
- Mitsch, W. J., & Jørgensen, S. E. (2004). *Ecological engineering and ecosystem restoration* (1st ed.). Wiley. Retrieved from <https://www.wiley.com/en->

- co/Ecological+Engineering+and+Ecosystem+Restoration-p-9780471332640
- Molina, J. V. (2007). *Agua. VI CONAMA*. España. Retrieved from <http://www.ingenieroambiental.com/4014/agua6.pdf>
- Munné, A., Prat, N., & Solá, C. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología Del Agua, ISSN 0211-8173, N° 175, 1998, Págs. 20-39, 1(175)*, 20–39. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=82007>
- Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). THE ECOLOGY OF INTERFACES: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 621–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Naiman, R. J., Decamps, H., & Pollock, M. (1993). The Role of Riparian Corridors in Maintaining Regional Biodiversity. *Ecological Applications*, 3(2), 209–212. <https://doi.org/10.2307/1941822>
- NOAA. (2018). Climate Prediction Center. Retrieved May 21, 2018, from http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- NOTICIAS CARACOL. (2015). Sequía afecta la represa de Salvajina en el norte del Cauca | Noticias Caracol. Retrieved April 5, 2018, from <https://noticias.caracol.com/colombia/sequia-afecta-la-represa-de-salvajina-en-el-norte-del-cauca>
- OMS. (2017). 2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro. Retrieved June 17, 2018, from <http://www.who.int/es/news-room/detail/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>
- Posada, E., Mojica, D., Pino, N., Bustamante, C., & Monzón, A. (2013). Establecimiento de Índices de Calidad Ambiental de Ríos con Bases en el Comportamiento del Oxígeno Disuelto y de la Temperatura. Aplicación al Caso del Río Medellín, en el Valle de Aburrá en Colombia. *Dyna*, 181, 192–200. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a21.pdf>
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales. Formulaciones Y Aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135–153. Retrieved from

<http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf>

Republica de Colombia. Decreto N°2811, Pub. L. No. 34243, Diario Oficial (1974). Colombia.

Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

Rodríguez, A. M. (2014). *Economía. 1.* (Grupo Editorial patria, Ed.) (Primera). Tlhuaca: Grupo Editorial patria. Retrieved from

https://books.google.com.co/books?id=BJ6EBgAAQBAJ&pg=PA87&lpg=PA87&dq=el+hombre+en+su+afan+por+satisfacer+sus+necesidades+basicas&source=bl&ots=QopLuP26df&sig=VEj_UFsC0tSYPRkLBkOgcmUeV1w&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjOnPqA2f3ZAhUGj1kKHQnxDtkQ6AEITTAE#v=onepage&q

Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN. Colombia-colciencias.* Bogotá.

Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat*, 40(155), 254–274. <https://doi.org/10.18257/raccefy.335>

Roldán, P. G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia : propuesta para el uso del método BMWP Col.* (Universidad de Antioquia, Ed.) (Ilustrada). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Retrieved from

https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Ruiz, J. C. (2017). *Propuesta para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico en la Microcuenca de la Quebrada de los Huevos.* UNIVERSIDAD DEL VALLE. Retrieved from <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/10220/1/7720-0505592.pdf>

Salas, J. A., & Mendoza, P. (2006). Problemática del Agua y Crecimiento Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Culcyt*, 3(14–15), 5–18.

Sánchez, D., Pinilla, G., & Mancera, J. (2015). Efectos del Uso del Suelo en las Propiedades Edáficas y la Escorrentía Superficial en Una Cuenca de la Orinoquia Colombiana. *Colombia Forestal*, 18(2), 255–272.

<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2015.2.a06>

Semana Sostenible. (2013). Carta de los botánicos colombianos al gobierno. Retrieved May 30, 2018, from <http://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/botanicos-colombianos/29731>

- Semana SOSTENIBLE. (2015, December 15). La política ambiental de Colombia es avanzada, el problema es que no se pone en práctica. *Sostenibilidad.Semana.Com*, p. 5. Retrieved from <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/ernesto-guhl-la-politica-ambiental-de-colombia-es-avanzada-el-problema-es-que-no-se-pone-en-practica/34351>
- Senado de la Republica. Ley 1454, Senado § (2011). *senado.gov.co*. Retrieved from http://www.senado.gov.co/images/stories/Dependencias/Comision_ordenamiento/LEY_1454_DE_ORDENAMIENTO_TERRITORIAL.pdf
- Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Velez, J., & Ocampo, O. (2013). *Adaptación a la variabilidad climática entre los caficultores de las cuencas de los ríos Porce y Chinchiná, Colombia. Investigaciones Geográficas* (Vol. 85). Elsevier. <https://doi.org/10.14350/rig.42298>
- Unesco. (2003). *Agua para todos, Agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>
- UNGRD. (2016). *Fenómeno El Niño, Análisis comparativo 1997-1998//2014-2016*. Bogotá, Colombia: Presidencia de la Republica. Retrieved from https://www.academia.edu/32509144/Fenómeno_El_Niño._Análisis_comparativo_1997-1998_2014-2016
- University of Barcelona. (2000). ECOSTRIMED INDEX (Ecological Status Rivers Mediterranean). Retrieved April 12, 2018, from https://geographyfieldwork.com/ECOSTRIMED_index.htm
- Uribe, T. O., Mastrangelo, M., Torrez, D. V., Piaz, A., Gallego, F., Soler, M. F., ... Maass, M. (2014). Transdisciplinary studies in socio-ecosystems: Theoretical considerations and its application in Latin American contexts. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 6(2), 151–164. Retrieved from <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/257/270#.Wv23BKSFPIU>
- Vannote, R. L., Minshall, W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130–137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>
- Vasquez, A., & Buitrago, A. C. (2011). *El gran libro de los Páramos*. (Proyecto Páramo Andino, Ed.), *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. *Formatos de campo.*

INDICE IQR

Formato de campo para la caracterización y evaluación de las condiciones riparias

Río _____

Código _____

Observador: _____

Fecha/hora: _____

Límites del segmento del río (coordenadas):

Inicio: _____

Final: _____

Valle y sección transversal:

1. Dimensiones del terreno con vegetación riparia	Derecho	Izquierdo
Límites del margen (C: confinado; U: no confinado)		
Ancho máximo y mínimo con vegetación riparia (m)	/	/
Ancho promedio del corredor ripario (m)		
Ancho promedio de canal activo (m)		
Distancia entre el margen del río activo y la pendiente ascendente adyacente (m)		
Uso del suelo adyacente (bosque, agricultura, área urbana, carreteras, otros)		
Score:		

2. Continuidad longitudinal y cubierta del corredor ripario	Derecho	Izquierdo
Bosque continuo (BC)/ Parches de vegetación (PV), Árboles (A1) o arbustos aislados (A2)		
% Cubierta del dosel (>5 m altura)		
% Cubierta del sotobosque (1-5 m altura)		
% Cobertura del suelo (< 1m de altura)		
Si está fragmentado, promedio de la longitud de los parques de vegetación (m)		
Si está fragmentado, distancia promedio entre parches consecutivos (m)		
Si está fragmentado, distancia promedio entre parches consecutivos (m)		
Si está fragmentado, uso del suelo en áreas abiertas		
Score:		

Clase (abundancia): Dominante (4), Abundante (3); Frecuente (2), Escasa (1), + Ocasional

3. Composición y estructura de la vegetación riparia	Derecho	Izquierdo
Asociaciones de vegetación predominante		
Especies de árboles: nombre y clase		
Especies de arbustos: nombre y clase		
Especies herbáceas: nombre y clase		
Plantas de sombra y enredaderas: nombre y clase		
Especies de árboles exóticas: nombre y clase (%)		

% Cobertura de especies acuáticas (carrizos)		
3. Composición y estructura de la vegetación riparia	Derecho	Izquierdo
% Cobertura de especies herbáceas ruderales o invasivas		
% Cobertura de especie invasiva típica: nombre		
Estado salud de las principales especies de árboles nativos (buena, regular, mala)		
Score:		

4. Diversidad de edades y regeneración natural	Ambos márgenes
Especies con plántulas (<1 año, < 0.25 m altura)	
Especies con ejemplares jóvenes (aprox. 0.25-1 m altura o < 1.5 cm de diámetro para árboles)	
Especies con ejemplares adultos (aprox. 1-5 m altura, 1.5-3 cm diámetro para árboles)	
Especies con ejemplares maduros (aprox. > 5m altura, >3 cm diámetro para árboles)	
Especies con ejemplares muertos: nombre y clase	
Sitios de regeneración: orillas, áreas próximas, área distal, área total.	
Regeneración evitada por: regulación del flujo/ pastoreo/ arado/ herbicidas/ compactación del suelo/ pavimento/ otros.	

Score:	
---------------	--

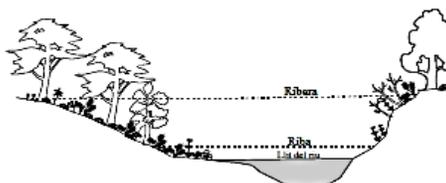
5. Condiciones de la orilla	Ambos márgenes
Material (rocoso, grava, arena fina, sedimentos finos, estratos compuestos)	
Forma (natural, perfilado, canalizado, otros) Dibujar el perfil simplificado	
Altura máxima de la orilla (m)	
Pendiente de la orilla del río (uniforme/compuesta)	
% Cobertura de la vegetación en la orilla	
Materia orgánica, madera muerta o escombros (abundante, presente, ocasional, ausente)	
Estabilidad de la orilla (estable, inestabilidad local, inestable)	
Descripción de los procesos del canal: Equilibrado, estrechamiento, amplitud.	
% Longitud de la orilla afecta por crecidas del río	
% Longitud de la orilla afectada por desbordamiento/erosión	
% de la longitud de la orilla con construcciones/bioingeniería	
Score:	

6. Flujos y conectividad lateral	Ambos márgenes
Estado del régimen de flujo (natural, regulado: ligeramente, moderadamente, significativamente)	
Si está regulado, principales propósitos (irrigación, hidroelectricidad, suministro/abastecimiento agua)	
Temporalidad anual de inundación (condiciones naturales, solo en verano, en cualquier momento)	
Restricciones para acceso por inundaciones en la zona riparia (elevación del banco, canales profundos, diques)	
Protecciones: altura (m)/distancia de la orilla del canal (m)	
Frecuencia estimada de flujos que rebasan el borde más alto de la orilla (uno cada 1-2, 5, 10, 25, >25 años)	
Frecuencia estimada de inundación de la zona riparia más próxima (uno cada 1-2, 5, 10, 25, >25 años)	
Frecuencia estimada de inundación de la zona riparia más alejada (uno cada 1-2, 5, 10, 25, >25 años)	
Abundancia de madera muerta o ramas transportadas por inundaciones (inexistente, ocasional, abundante, muy abundante)	
Localización de madera muerta o ramas transportadas por inundaciones (solo en las orillas, en las zonas riparias más cercanas, en zonas alejadas, en toda la zona)	
Score:	

7. Sustrato y conectividad vertical	Ambos márgenes
Cobertura superficial del suelo predominante (rocas, madera, hojarasca, pasto, suelo sin vegetación, otros)	
% Cobertura de hojarasca y pastos	
% Cobertura de suelo sin vegetación compactado o pavimentado	
Intensidad del pastoreo (inexistente, no significativo, moderado, intenso, muy intenso)	
Comunidades herbáceas (especies autóctonas, oportunistas abundantes/dominantes)	
% Área afectada por minería o excavaciones	
% de área afectada por sedimentación	
% Área afectada por residuos sólidos o escombros de construcción	
% Área afectada por infraestructuras subterráneas presentes (inexistentes, tuberías, carreteras, edificios, infraestructuras, otros)	
Score:	

Cualificación de la zona riparia de los ecosistemas fluviales. Índice QBR

- Esta cualificación debe ser aplicada en la zona de ribera de los ríos (orilla y ribera). Zonas inundadas periódicamente por las avenidas ordinarias y las máximas.
- Los cálculos se realizarán sobre el área que presenta una potencialidad de soportar una masa vegetal riparia. No se cuentan las zonas con sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente.
- En tramos de alta montaña sin vegetación riparia natural o en zonas áridas, consultar la nota de la parte posterior de esta hoja de campo



La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25

Tramo observado a partir del punto de acceso al río

Estación	
Observador	
Fecha	

Agua arriba	
Otros	

Grado de cubierta de la zona de ribera (solo consideraremos la ribera)

Puntuación entre 0 y 25

Puntuación	
25	> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)
10	50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera
5	10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera
0	< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera
+ 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total
+ 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%
- 5	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre el 25 y 50%
- 10	si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%

Estructura de la cubierta (se contabiliza toda la zona de ribera)

Puntuación entre 0 y 25

Puntuación	
25	recubrimiento de árboles superior al 75 %
10	recubrimiento de árboles entre el 50 y 75 % o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50 % y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25 %
5	recubrimiento de árboles inferior al 50 % y el resto de la cubierta con arbustos entre 10 y 25 %
0	sin árboles y arbustos por debajo del 10 %
+ 10	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50 %
+ 5	si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre 25 y 50 %
+ 5	si existe una buena conexión entre la zona de arbustos y árboles con un sotobosque
- 5	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50 %
- 5	si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad
- 10	si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50 %

Calidad de la cubierta (depende del tipo geomorfológico de la zona de ribera*)

Puntuación entre 0 y 25

Puntuación		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
25	número de especies diferentes de árboles autóctonos	> 1	> 2	> 3
10	número de especies diferentes de árboles autóctonos	1	2	3
5	número de especies diferentes de árboles autóctonos	-	1	1 - 2
0	sin árboles autóctonos			
+ 10	si existe una continuidad de la comunidad a lo largo del río, uniforme y ocupando > 75 % de la ribera (en toda su anchura)			
+ 5	si existe una continuidad en la comunidad a lo largo del río (entre 50 - 75 % de la ribera)			
+ 5	si existe una disposición en galería de diferentes comunidades			
+ 5	si el número diferente de especies de arbustos es:	> 2	> 3	> 4
- 5	si existen estructura construidas por el hombre			
- 5	si existe alguna sp. de árbol introducida (alóctona)** aislada			
- 10	si existen sp. de árboles alóctonas** formando comunidades			
- 10	si existen vertidos de basuras			

Grado de naturalidad del canal fluvial

Puntuación entre 0 y 25

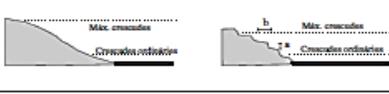
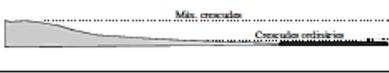
Puntuación	
25	el canal del río no ha estado modificado
10	modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal
5	signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río
0	río canalizado en la totalidad del tramo
- 10	si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río
- 10	si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río

Puntuación final (suma de les anteriores puntuaciones)

--	--

*** Determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera (apartado 3, calidad de la cubierta)**

Sumar el tipo de desnivel de la derecha y la izquierda de la orilla, y sumar o restar según los otros dos apartados.

		<i>Puntuación</i>	
		Izquierda	Derecha
<i>Tipos de desnivel de la zona riparia</i>			
Vertical/cóncavo (pendiente > 75°), con una altura no superable por las máximas avenidas		6	6
Igual pero con un pequeño talud o orilla inundable periódicamente (avenidas ordinarias)		5	5
Pendiente entre el 45 y 75°, escalado o no. La pendiente se cuenta con el ángulo entre la horizontal y la recta entre la orilla y el último punto de la ribera. $\Sigma a > \Sigma b$		3	3
Pendiente entre el 20 y 45°, escalonado o no. $\Sigma a < \Sigma b$		2	2
Pendiente < 20°, ribera uniforme y llana.		1	1
<i>Existencia de una isla o islas en el medio del lecho del río</i>			
Anchura conjunta "a" > 5 m.		-2	
Anchura conjunta "a" entre 1 y 5 m.		-1	
<i>Potencialidad de soportar una masa vegetal de ribera. Porcentaje de sustrato duro con incapacidad para enraizar una masa vegetal permanente</i>			
> 80 %		No se puede medir	
60 - 80 %		+6	
30 - 60 %		+4	
20 - 30 %		+2	
<i>Puntuación total</i>			

Tipo geomorfológico según la puntuación

> 8	Tipo 1	Riberas cerradas, normalmente de cabecera, con baja potencialidad de un extenso bosque de ribera
entre 5 y 8	Tipo 2	Riberas con una potencialidad intermedia para soportar una zona vegetada, tramos medios de los ríos
< 5	Tipo 3	Riberas extensas, tramos bajos de los ríos, con elevada potencialidad para poseer un bosque extenso

**** Especies frecuentes y consideradas alóctonas**

1- Árboles	2- Arbustos

Observaciones:

--

ÍNDICE CERA-S

Formato de campo para la caracterización y evaluación de las condiciones riparias

Río _____

Código _____

Observador: _____

Fecha/hora: _____

Límites del segmento del río (coordenadas):

Inicio: _____

Final: _____

Valor	Estado de la variable
0	Pésimo
1	Malo
2	Regular
3	Moderado
4	Muy bueno
5	Excelente

LA RIBERA Y EL CANAL FLUVIAL		Puntuación	
		Sugerida	Asignada
A. Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera			
A.1	Vegetación de ribera de páramo.		
	Páramo herbáceo, mixto, Frailejones	5	
	Hierbas pisoteadas por ganadería o zonas agrícolas	2	
	Tierra baldía o Cangahua	0	
A.2	Vegetación de ribera de bosque		
	Árboles o bosques mixtos de especies nativas	5	
	Arbustos o árboles introducidos como pinos o eucaliptos	3	
	Cultivos o pastos	1	
	Tierra baldía o cangahua	0	

B. Continuidad de la ribera			
	Vegetación de ribera continua, sin partes donde haya pasto o cultivos	5	
	Manchas grandes de vegetación de ribera , parches interrumpidos por cultivos, infraestructuras o pastos	3	
	Manchas aisladas de vegetación de ribera, pequeños parches alejados entre sí.	1	

C. Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacentes o próximos			
	Paisaje próximo a la zona de ribera: Vegetación natural (páramo o bosque) en más de un 75% (sin elementos urbanos)	5	
	Paisaje próximo a la zona de ribera: Combinación de bosques con cultivos cuya superficie sea inferior al 50% (sin elementos urbanos)	3	
	Paisaje próximo a la zona de ribera: Combinación de bosques con cultivos cuya superficie sea superior al 50% (sin elementos urbanos)	1	
	Vegetación de ribera próxima a elementos de urbanismo (viviendas, carreteras paralelas al río), elementos que ocupan menos del 50% del paisaje (habitualmente solo en un margen del río), y resto del paisaje ocupado por bosque.	2	
	Vegetación de ribera próxima a elementos de urbanismo (viviendas, carreteras paralelas al río), elementos que ocupan menos del 50% del paisaje (habitualmente solo en un margen del río), y resto del paisaje ocupado por agricultura; o si los elementos de urbanismo ocupan más del 50% del paisaje adyacente (situándose en los dos márgenes) la conectividad es nula.	0	

D. Presencia de basuras y escombros			
	Ribera sin basura ni escombros.	5	
	Ribera con basura de forma aislada y fácil de remover (por ejemplo con una minga de una mañana)	2	
	Ribera con basura acumulada en forma de botadero (que se pueden sacar solo con maquinaria y remoción de tierra)	0	

E. Naturalidad del canal fluvial			
	Río sin signos de que su cauce haya sido modificado, ni rectificado ni canalizado, y sin cemento, ni estructuras sólidas.	5	
	Terrazas, adyacentes al río, modificadas para hacer plantaciones o para pasto para ganado	3	
	Uno de los lados del canal del río está modificado por una estructura sólida	1	
	Los dos lados del canal del río están modificados por estructuras sólidas	0	

F. Composición del sustrato en el lecho del río			
	Bloques	1	
	Grava	1	
	Piedras	1	
	Arena	1	
	Cantos	1	

F. Composición del sustrato en el lecho del río			
	Arcilla	1	
	Lodo	1	

G. Regímenes de velocidad y profundidad del río			
Somero: Profundidad < 0,5 m.		Profundo: Profundidad > 0,5 m.	
Rápido: Velocidad > 0,3m/s.		Lento: Velocidad < 0,3m/s.	
	Rápido - Somero	1	
	Rápido - Profundo	1	
	Lento - Somero	1	
	Lento - Profundo	1	
Nota: Si se encuentran los 4 tipos, se suma un punto adicional			

H. Elementos de heterogeneidad			
	Hojarasca	1	
	Troncos y Ramas	1	
	Diques Naturales	1	
	Raíces Sumergidas	1	
	Vegetación Acuática Sumergida (Musgos y Plantas)	1	
	Vegetación acuática sumergida (Algas)	1	
Total			