

**MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD EN MICROCUENCAS
ABASTECEDORAS ANTE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA A PARTIR DE UN ENFOQUE
ADAPTATIVO**



AURA PAOLA ANDRADE AYALA
Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales
Director
Carlos Enrique Osorio Garcés PhD
Co-Director
Juan Pablo Martínez Idrobo PhD

Universidad del Cauca
Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación
Popayán, 2019

AURA PAOLA ANDRADE AYALA

**MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD EN MICROCUENCAS
ABASTECEDORAS ANTE LA VARIABILIDAD CLIMATICA A PARTIR DE UN ENFOQUE
ADAPTATIVO**

**Tesis Presentada a la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación,
Universidad del Cauca para la Obtención del Título de:**

Doctora en Ciencias Ambientales

Director

Carlos Enrique Osorio Garcés PhD

Co-Director

Juan Pablo Martínez Idrobo PhD

Popayán, 2019



Universidad
del Cauca

Facultad de Ciencias Naturales,
Exactas y de la Educación
Centro de Posgrados
Doctorado Interinstitucional
en Ciencias Ambientales

ACTA DE DEFENSA DE TESIS DOCTORAL

Los jurados de la Tesis Doctoral Titulada:

“MODELO DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD EN MICROCUENCAS ABASTECEDORAS ANTE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA A PARTIR DE UN ENFOQUE ADAPTATIVO”

Bajo la dirección de:

Dr. Carlos Enrique Osorio Garcés

HACEN CONSTAR:

Que siendo las: 4:00 pm del día trece (13) del mes agosto de 2020,
el doctorante:

Aura Paola Andrade Ayala.

Identificado con cédula No 34.318.918

Obtuvo el concepto de:

NO APROBADO () APROBADO (X) EXCELENTE () SOBRESALIENTE CUM LAUDE ()

Por los siguientes jurados:

Dra. Silvia Milena Corrales Marín

Jurado Externo Nacional

Dr. Alfredo Delgado Rodríguez

Jurado Externo Internacional

Dra. Juliana Isabel Sarmiento Castillo

Jurado Interno Coordinador

Dr. Apolinar Figueroa Casas

Coordinador del programa Ciencias Ambientales

Para constancia, se firma en Popayán, ciudad universitaria el día trece (13) del mes de agosto de dos mil veinte (2020)

Agradecimientos

A Dios por permitirme todas las vivencias a través de este proceso doctoral.

A Sami, por su confianza, paciencia y decidido respaldo, que han sido mi fuerza en este arduo camino de formación.

A mi bella Madre, por ser ejemplo de tenacidad, amor y Fe.

A mis hermanos: Fabio, Mary y Sandrita, mi cuñado Reinel y mis sobrinos: LuisMi, Fabiz, Mady, Rey, Pipe y Esteban, por su amor y apoyo incondicional en cada etapa del Doctorado.

A mi Estrellita, por su silenciosa y dulce compañía.

A mis Tutores Dr. Carlos Osorio y Dr. Juan Pablo Martinez, por su orientación, acompañamiento y excelentes contribuciones en el desarrollo de la Investigación.

Al Acueducto Rural Aires del Campo (Timbío-Cauca), principalmente a la Gerente Kelly Manzano, por su gran compromiso con la Comunidad y por el apoyo clave en el progreso de este trabajo de investigación.

A la comunidad de las Veredas Camposano, Buenos Aires y La Banda en Timbío y El Libano, El Molino y Hato Frío en Sotaró, por la disposición para compartir sus saberes.

Al Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional de la Universidad Autónoma de Tlaxcala en México, por su espacio en las cátedras del Doctorado en Estudios Territoriales y de la Maestría en Análisis Regional, principalmente al Dr. Alfredo Delgado Rodríguez, por su generosidad e interesantes discusiones que fortalecieron la investigación durante mi tiempo de Pasantía.

A los Grupos de Investigación de la Universidad del Cauca: Grupo de Estudios Ambientales y Antropos, por la cooperación académica.

A la Dra. Isabel Torna, Dra. Lidice Castro y Dr. Rudy Montero de la Agencia de Medio Ambiente de Cuba; y a la Dra. Marta Rosa Muñoz, directora de FLACSO Cuba, por compartir su valiosa experiencia en la gestión rural de los recursos hídricos desde el trabajo participativo y la educación ambiental comunitaria.

A los Profesores y compañeros de la Universidad del Cauca, Universidad del Valle y Universidad Tecnológica de Pereira, por compartir sus conocimientos.

Al Programa de Doctorado en Ciencias ambientales y especialmente al Dr. Apolinar Figueroa Casas, por generar y mantener un espacio de reflexión y convergencia de conocimientos y saberes.

A la Gobernación del Cauca, por el apoyo económico a la investigación a través del proyecto AQUARISC.

A todos los Investigadores del Proyecto AQUARISC, especialmente a Samir, Juan Pablo, Fernando Felipe, Miyer, Diana, Edith, Sandra, Dayan, Julian y Fabio, por su profesionalismo y diligente colaboración.

A los Evaluadores de mi Tesis, Dra. Juliana Sarmiento, Dra. Silvia Corrales y Dr. Alfredo Delgado, por sus amables y constructivos aportes.

Resumen Estructurado

La presente tesis doctoral en Ciencias ambientales refiere a los procesos de gestión y planificación para hacer frente a problemáticas ambientales, específicamente a las que tienen que ver con el riesgo por abastecimiento de agua en las zonas rurales, haciendo un análisis a la gestión integral del agua, los diferentes abordajes internacionales y nacionales, para llegar al abordaje en Colombia y como acoge el país estos lineamientos mundiales en procura de la gestión apropiada del agua; se propone también el análisis de tres conceptos que permiten complementar la GIRH, como planteamiento central que promueve convergencias múltiples desde el ámbito académico como lo son la gestión adaptativa, la resiliencia y la gobernanza para fortalecer el abordaje sistémico requerido en el manejo del agua bajo la premisa de sostenibilidad. Como consecuencia de este análisis se plantea la microcuenca como un socioecosistema dadas las características intrínsecas para proveer agua para diferentes usos, siendo estas afectadas adversamente por eventos extremos, lo cual merece un análisis de la vulnerabilidad de microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática para hacer un planteamiento crítico de la problemática en la región en términos de gestión.

Structured Abstract

The present review article, framed in the development of a doctoral thesis, in Ambient Sciences of the Universidad del Cauca, refers to the management and baking proceSE to deal with environmental problems, specifically those that have to do with risk by water supply in rural areas, making an analysis of the integral management of water, the different international and national approaches, to reach the approach in Colombia and how the country adpots these global guidelines for the proper management of water; It also proposes the analysis of three concepts that make it possible to complement IWRM, as a central approach that promotes multiple convergences from the academic sphere, such as adaptive management, resilience and governance to strengthen the systemic approach required in the management of water under the premise of sustainability. As a consequence of this analysis, the microbasin is considered as a socioecosystem given the intrinsic characteristics to provide water for different uses, being adversely affected by climatic anomalies, which deserves an analysis of the vulnerability of supply microbasins to climate change and climate variability to make a critical approach to the problems in the region in terms of management.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.1. Planteamiento del Problema	15
1.2. Abordaje desde las Ciencias Ambientales	21
1.3. Objetivos	22
1.4. Marco Teórico	22
1.4.1 <i>Gestión Integral del Recurso Hídrico - GIRH y Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH</i>	22
1.4.2 <i>Gestión Adaptativa – Resiliencia – Gobernanza</i>	26
1.4.3 <i>Microcuenca como un Socioecosistema</i>	34
1.4.4 <i>Vulnerabilidad de Microcuencas Abastecedoras ante el Cambio Climático y la Variabilidad Climática</i>	35
1.5. Estado del Arte	38
1.5.1 <i>Gestión Integral del Recurso Hídrico en Microcuencas Abastecedoras</i>	38
1.5.2 <i>Gestión del Riesgo e Implementación de la Gestión Integral del Recurso Hídrico</i>	41
1.5.3 <i>Análisis de la Vulnerabilidad de Microcuencas Abastecedoras ante la Variabilidad Climática</i>	42
2. METODOLOGÍA	46
2.1. Justificación del Enfoque Epistemológico	46
2.2. Descripción del Caso de Estudio	51
2.2.1 <i>Caracterización Biofísica</i>	57
2.2.1.2 Coberturas Vegetales y Usos de Suelo	63
2.2.1.3 Climatología	67
2.2.1.4 Calidad del Agua	70
2.2.2 <i>Caracterización Socioeconómica</i>	70
2.2.2.1 Vivienda y Saneamiento Básico	71
2.2.2.2 Aspectos económicos	72

2.3 Fases de la Investigación	74
2.3.1 Fase I. Identificación los Factores de Vulnerabilidad	78
2.3.2 Fase II. Análisis de la Vulnerabilidad de la microcuenca abastecedora	79
2.3.3 Fase III. Lineamientos para la Gestión integral de la Vulnerabilidad con Enfoque Adaptativo	79
3 MODELO PROPUESTO PARA GESTIÓN INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD EN LA MICROCUENCA RÍO MOLINO - TIMBÍO	80
3.1 Perspectiva Compleja y Sistémica de un Modelo de Gestión de la Vulnerabilidad Desde un Enfoque Adaptativo	80
3.1.1 Alcance del Modelo	82
3.1.2 Bases Conceptuales del Modelo	84
3.1.3 Condicionantes para la Aplicación del Modelo	85
3.2 Factores de la Vulnerabilidad en la Microcuenca Río Molino	89
3.2.1 Uso y Enfoque por Indicadores	92
3.2.2 Descripción de las Dimensiones de Análisis	93
3.2.3 Modelo de análisis por indicadores - DPEIR	95
3.2.3.1 Características de los Indicadores	96
3.2.4 Análisis de la Microcuenca Como un Socioecosistema	97
3.3 Estimación y Análisis de la Vulnerabilidad	98
3.4 Vulnerabilidad del Sistema de Abastecimiento Aires del Campo, Timbío	113
3.4 Propuesta de Lineamientos para la Gestión Integral con Enfoque Adaptativo de la Microcuenca Abastecedora Río Molino - municipios de Timbío y Sotaró, Cauca	122
CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	134
ANEXOS	144

Lista de Tablas

Tabla 1. Dimensiones de análisis de la Vulnerabilidad	94
Tabla 2. Descripción de los indicadores	96
Tabla 3. Indicadores para el subsistema Fuente	105
Tabla 4. Indicadores para el subsistema Prestador	106
Tabla 5. Indicadores para el subsistema usuario	107
Tabla 6. Rangos de interpretación de la Vulnerabilidad	112
Tabla 7. Cálculo de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento Aires del Campo-Timbío	113
Tabla 8. Cálculo por subsistema (Fuente, Prestador, Usuarios) del sistema de abastecimiento Aires del Campo-Timbío	113
Tabla 9. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Fuente - sensibilidad	123
Tabla 10. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Fuente - capacidad de adaptación	124
Tabla 11. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Prestador - sensibilidad	125
Tabla 12. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Prestador - capacidad de adaptación	126
Tabla 13. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema usuarios - sensibilidad	127
Tabla 14. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad en el subsistema usuarios - Capacidad de adaptación	128

Lista de Figuras

Figura 1. Arbol del problema para abordar la gestión de la Vulnerabilidad en microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática	20
Figura 2. Ubicación de la microcuenca río Molino	53
Figura 3. Geología de la microcuenca río Molino	58
Figura 4. Pendientes en la microcuenca río Molino	59
Figura 5. Grados de erosión de la microcuenca río Molino	61
Figura 6. Clases de erosión en la microcuenca río Molino	62
Figura 7. Coberturas vegetales y usos del suelo	64
Figura 8. Áreas productivas en la ronda hídrica de la microcuenca río Molino	66
Figura 9. Precipitación acumulada (mm/año) microcuenca río Molino	68
Figura 10. Temperatura media en la microcuenca río Molino	69
Figura 11. Esquema metodológico para desarrollar el modelo de gestión integral de la Vulnerabilidad	77
Figura 12. Modelo de gestión de la Vulnerabilidad de la microcuenca río Molino	83
Figura 13. Factores que determina la Vulnerabilidad	91
Figura 14. Abordaje por indicadores	93
Figura 15 Modelo DPEIR para el sistema de abastecimiento de agua (Martinez, 2017)	103
Figura 16 Dimensiones consideradas para el análisis de la Vulnerabilidad en los subsistemas Fuente, Prestador y usuario	104
Figura 17. Sensibilidad del subsistema Fuente-Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío	115
Figura 18. Capacidad de adaptación del subsistema Fuente - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío	116
Figura 19. Sensibilidad del subsistema Prestador - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío	118
Figura 20. Capacidad de adaptación del subsistema Prestador - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío	119
Figura 21. Sensibilidad del subsistema Usuarios - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío	121
Figura 22. Capacidad de adaptación subsistema Usuarios - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío	121

Lista de Anexos

Anexo A. Instrumento para levantamiento de información en subsistema Fuente	144
Anexo B. Instrumento para levantamiento de información en subsistema Prestador	148
Anexo C. Instrumento para levantamiento de información en subsistema Usuarios	149
Anexo D. Características de los indicadores del subsistema Fuente	155
Anexo E. Características de los indicadores para el subsistema Prestador	166
Anexo F. Características de los indicadores para el subsistema Usuarios	179
Anexo G. Cálculo matricial de la Vulnerabilidad por subsistema	190
Anexo H. Índices de calidad de agua	191

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática en el departamento del Cauca ubicado al sur de Colombia ha tenido efectos ambientales y sociales significativos, por los fenómenos climáticos como la niña (2010-2011) y el niño (2015-2016); los eventos extremos como inundaciones, sequías y avenidas torrenciales han afectado los sistemas de acueducto, en zona rural y urbana, afectando significativamente la prestación del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano.

Esta situación evidencia una fragilidad en las microcuencas abastecedoras de carácter socio ambiental, donde confluyen muchas variables que van desde cuestiones intrínsecas, propias de las limitaciones de la gestión comunitaria, aspectos de carácter institucional y de presencia del Estado, falencias de conocimiento para enfrentar las problemáticas ambientales y demás que se desglosan en este estudio. Estas situaciones se acentúan en las zonas rurales, donde la disponibilidad de agua está mediada por la infraestructura necesaria, la acción comunitaria para su gestión, las dificultades administrativas que se tienen que enfrentar, pues la legislación es limitada para las zonas rurales, dado que conceptualmente está dirigida a centros urbanos, entre otras situaciones.

Lo anterior ocasiona problemas de disponibilidad, desabastecimiento y racionamiento con sus consecuentes efectos negativos sobre la calidad de vida de la población y sus actividades económicas; aunque el mayor uso de agua es para la actividad agropecuaria, los aspectos más críticos de disponibilidad tienen relación con el abastecimiento de agua para consumo humano humano.

Como se planteó en el documento, la Gestión Integral del Recurso Hídrico-GIRH, debe ser herramienta para el desarrollo y la gestión comunitaria del agua; que establezca un puente

entre las políticas de Estado y las comunidades rurales. Configurando así un aporte a la gobernanza en los territorios en procura de mejores condiciones de vida en armonía con el medio ambiente.

El modelo de gestión que se plantea en este documento, parte del análisis de la vulnerabilidad, desde un abordaje interdisciplinario que integra las dimensiones social, biofísica, económica, cultural, política y de infraestructura, relacionadas con la oferta, calidad y demanda de agua, acercándose a un análisis sistémico del territorio.

El propósito de este trabajo fue desarrollar un modelo de gestión integral con enfoque adaptativo, de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática en una microcuenca abastecedora, a partir de un caso de estudio en el municipio de Timbío (Cauca); se establecerán los factores que determinan la relación de la gestión adaptativa, la resiliencia y la gobernanza, lo anterior se realizó mediante el cumplimiento de los objetivos específicos; donde se identificaron los factores de vulnerabilidad de la microcuenca abastecedora ante la variabilidad climática, se realizó un análisis de la vulnerabilidad de la microcuenca por desabastecimiento de agua ante la variabilidad climática y se propusieron lineamientos para la gestión integral con enfoque adaptativo de la microcuenca abastecedora.

Las contribuciones de esta investigación están centradas en la generación de aportes para la gestión de las microcuencas abastecedoras de acueductos rurales, incorporando nuevos paradigmas como la resiliencia, la adaptación en el marco de los socioecosistemas, para la planificación y gestión ambiental, tomando en cuenta la relación histórica entre los sistemas sociales y el conocimiento ecológico, posibilitando de esta manera hablar de planificación pertinente y gestión ambiental adaptativa.

2. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Planteamiento del Problema

La vulnerabilidad es definida, según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático - IPCC, como la medida en que el cambio climático puede alterar adversamente un sistema; y depende de: *i*) la sensibilidad, *ii*) su capacidad de adaptación a nuevas condiciones climáticas; *iii*) la relevancia de las políticas y *iv*) el enfoque disciplinario para su análisis (Watson, Marufu, Moss, & David, 1996). El análisis de la vulnerabilidad tiene que ver con la gobernanza y la gestión del riesgo, campos comunes con la adaptación y resiliencia (Brooks, 2003; Kelly & Adger, 2000).

Así planteado, en Colombia inicia el diálogo acerca de la vulnerabilidad del recurso hídrico con el Tercer Informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático 2001, donde se establece la vulnerabilidad como el resultado de dos componentes: la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Desde este enfoque se han realizado diversas aproximaciones a la vulnerabilidad de microcuencas bajo un abordaje sistémico, entendiendo la microcuenca de abastecimiento como un socioecosistema - SE, lo que permite una comprensión integral de los conflictos e interrelaciones entre el hombre y los sistemas naturales (Martin, 2006; Morin, 1998; Lucía Solís, 2003).

Además, como elementos esenciales para el análisis de vulnerabilidad, es importante hacer referencia a los factores biofísicos que determinan la disponibilidad de agua en las microcuencas abastecedoras, estos son: temperatura, precipitación y evapotranspiración, los cuales varían por regiones. En este contexto, para Colombia se proyecta que en el 2071 – 2100, la precipitación media disminuya entre 10 a 30% en cerca del 27% del territorio nacional (Amazonas, Vaupés, sur del Caquetá, San Andrés y Providencia, Bolívar, Magdalena, Sucre y

norte del Cesar); sin embargo, para el mismo período se espera que la precipitación aumente entre 10 a 30% en cerca del 14% del territorio nacional (Nariño, Cauca, Huila, Tolima, Eje Cafetero, occidente de Antioquia, norte de Cundinamarca, Bogotá y centro de Boyacá). Esta variabilidad en las precipitaciones y los cambios en el uso del suelo incrementarían la probabilidad de eventos tales como deslizamientos, afectación de acueductos veredales y sistemas de abastecimiento y daño de la infraestructura vial en áreas de montaña (IDEAM, 2018).

Por otra parte, como un aporte para conocer el estado y dinámica del agua en el país, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, mediante el Estudio Nacional del Agua-ENA del 2018 (IDEAM, 2018), identifica que en Colombia las Fuentes de abastecimiento de agua son principalmente superficiales, además afirma que el 40% de las principales microcuencas abastecedoras son vulnerables debido a la variabilidad climática¹, es decir, las posibles variaciones del clima afectan las microcuencas en términos de su capacidad de conservar y mantener el régimen hidrológico, lo que se relaciona directamente con la oferta y disponibilidad de agua para consumo humano humano.

En este sentido, la afectación de la variabilidad climática para el departamento del Cauca ha sido notoria, impactando el territorio negativamente en los últimos años por la presencia de fenómenos climáticos como la niña (2010-2011) y el niño (2015-2016). En este

¹ Según el Sistema de Inventario de Desastres-Desinventar, se registra que el país ha enfrentado considerables eventos derivados de la variabilidad climática entre los años 1987 y 2007 que corresponden a: inundaciones 59%, deslizamientos 27%, incendios forestales 7%, avenidas torrenciales 4%, eventos de sequía 2% y contaminación 1%. De los registros sobre eventos que afectaron el sistema de acueducto por desabastecimiento, racionamiento y daños a la infraestructura, el 78% corresponden a aquellos que afectaron simultáneamente a la población y a la infraestructura del acueducto (MAVDT, 2010).

sentido, cabe mencionar que en 2015, 25 de los 42 municipios del departamento se declararon en calamidad pública debido a eventos que afectaron principalmente la infraestructura del acueducto, impidiendo la prestación del servicio de abastecimiento de agua para consumo humano humano (EMCASERVICIOS, 2017). Ejemplo de ello es el municipio de Timbío donde se han registrado eventos de inundación y sequía. Sumado a esto, las actividades antrópicas² han sido las principales causas de degradación ambiental dada la intensa deforestación en áreas de ribera (Alcaldía Municipal de Timbío, 2016).

La situación planteada evidencia una problemática en las Fuentes abastecedoras de carácter socio ambiental, asociada a las siguientes causas: análisis deficiente y/o descontextualizado de la vulnerabilidad por desabastecimiento de agua ante la variabilidad climática; articulación a nivel municipal poco efectiva entre la autoridad ambiental, el ente territorial y las organizaciones sociales para la gestión integral del agua; capacidad de autogestión limitada por bajo nivel de conocimiento del riesgo por desabastecimiento de agua en el territorio; no se ha considerado una gestión de la microcuenca con abordaje adaptativo, es decir, un proceso a través del cual se mejoren sistemáticamente las prácticas y dinámicas mediante el aprendizaje de los resultados de estrategias de gestión ya ejecutadas, en la cuales se involucran actores clave de los sectores sociales y gubernamentales, esto como mecanismo para la reducción del riesgo por desabastecimiento de agua; dificultad en la aplicación de normativa sectorial, teniendo en cuenta las realidades del territorio; necesidad de un enfoque

² Las principales actividades antrópicas que están relacionadas con el recurso hídrico son: explotación maderera, ganadería, cultivos agrícolas, deforestación y quemas, asentamientos humanos, contaminación de la fuente hídrica por agroquímicos, residuos sólidos y vertimientos directos de agroquímicos y aguas residuales domésticas (AQUARISC, 2016).

de gestión del riesgo frente al manejo y control del déficit de agua, el cual considere las prácticas, usos y costumbres que la sociedad asume frente al recurso hídrico para su cuidado y protección (Figura 1).

La problemática referida está relacionada por una parte con el déficit de agua que genera problemas de disponibilidad, desabastecimiento y racionamiento con sus consecuentes efectos nocivos sobre la calidad de vida de la población y sus actividades económicas; aunque el mayor uso de agua es para la actividad agropecuaria, los aspectos más críticos de disponibilidad tienen relación con el abastecimiento de agua para consumo humano, para los procesos industriales y para la generación de energía eléctrica. Por otro lado, el exceso de agua genera inundaciones, avenidas torrenciales y/o deslizamientos que afectan la oferta hídrica al contaminar con sedimentos las Fuentes de agua y pueden destruir los sistemas de abastecimiento y distribución; así mismo, genera impactos directos a la disponibilidad, continuidad y calidad del agua a suministrar, además de los costos económicos que implican las pérdidas de agua, las obras de recuperación, rehabilitación y reconstrucción de los sistemas de abastecimiento (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Por lo anterior, es necesario referirse inicialmente a la Gestión Integral del Recurso Hídrico-GIRH, ésta se configura como una herramienta para el desarrollo y la gestión del agua, pretendiendo un balance de las necesidades ambientales, económicas y sociales; sin embargo, su implementación se hace desde el marco institucional que requiere de voluntad política y respaldo de las autoridades competentes, lo que ha dificultado la eficiencia de la GIRH (Restrepo, 2010; Zamudio, 2012), situación que no beneficia la autogestión del agua en el territorio para enfrentar la complejidad de las problemáticas ambientales que emergen ante la variabilidad climática (Dourojeanni & Jouravlev, 2002).

Esto pone en el marco de la discusión las necesidades reales de establecer un adecuado balance entre lo ambiental, lo social y lo económico, teniendo como base que a pesar de la urgencia de evaluar las características y condiciones de la microcuencas, para proyectar su cuidado y asegurar su permanencia, la realidad implica unir sectores dispares como la economía y la sociedad, el primero de ellos orientado a la expansión agrícola e industrial y el segundo al bienestar de los colectivos humanos cada vez más en aumento. De esta manera, es preciso considerar la realidad actual en cuanto a patrones de consumo humano y producción, generando un equilibrio que no contraponga a las partes.

En este marco, desde la academia e instituciones gubernamentales, se han realizado análisis de la vulnerabilidad de las microcuencas de abastecimiento en el departamento del Cauca, desde un abordaje interdisciplinario que integra las dimensiones social, biofísica, económica, cultural, política y de infraestructura, relacionadas con la oferta, calidad y demanda de agua, esto indica un acercamiento al análisis sistémico (Valencia et al., 2014); estos estudios se han realizado con énfasis en abastecimiento urbano, teniendo en cuenta las capacidades de adaptación. Por otro lado, la Corporación Autónoma Regional del Cauca ha realizado acercamientos para el análisis de la vulnerabilidad de las microcuencas abastecedoras con un enfoque metodológico que aborda las dimensiones biofísica y social en cuanto al efecto que esto puede producir en los colectivos humanos (CRC, 2015); sin embargo, no tienen en cuenta en el análisis la percepción de la comunidad en torno a la gestión del recurso hídrico. Ambos abordajes no consideran un modelo de gestión de la vulnerabilidad de la microcuenca que permita generar estrategias para su reducción, a partir de las capacidades endógenas del territorio, este último visualizado como la unión de voluntades y gestión política encaminada al respeto por los grupos que conviven en un territorio.

En este sentido, es necesario el desarrollo de un modelo de gestión integral con enfoque adaptativo ante la variabilidad climática, en procura de la reducción de la vulnerabilidad. Para abordar conceptualmente la problemática identificada se dió respuesta al ¿cómo se debe gestionar la vulnerabilidad en una microcuenca abastecedora desde un enfoque adaptativo para enfrentar el desabastecimiento de agua ante la variabilidad del clima?

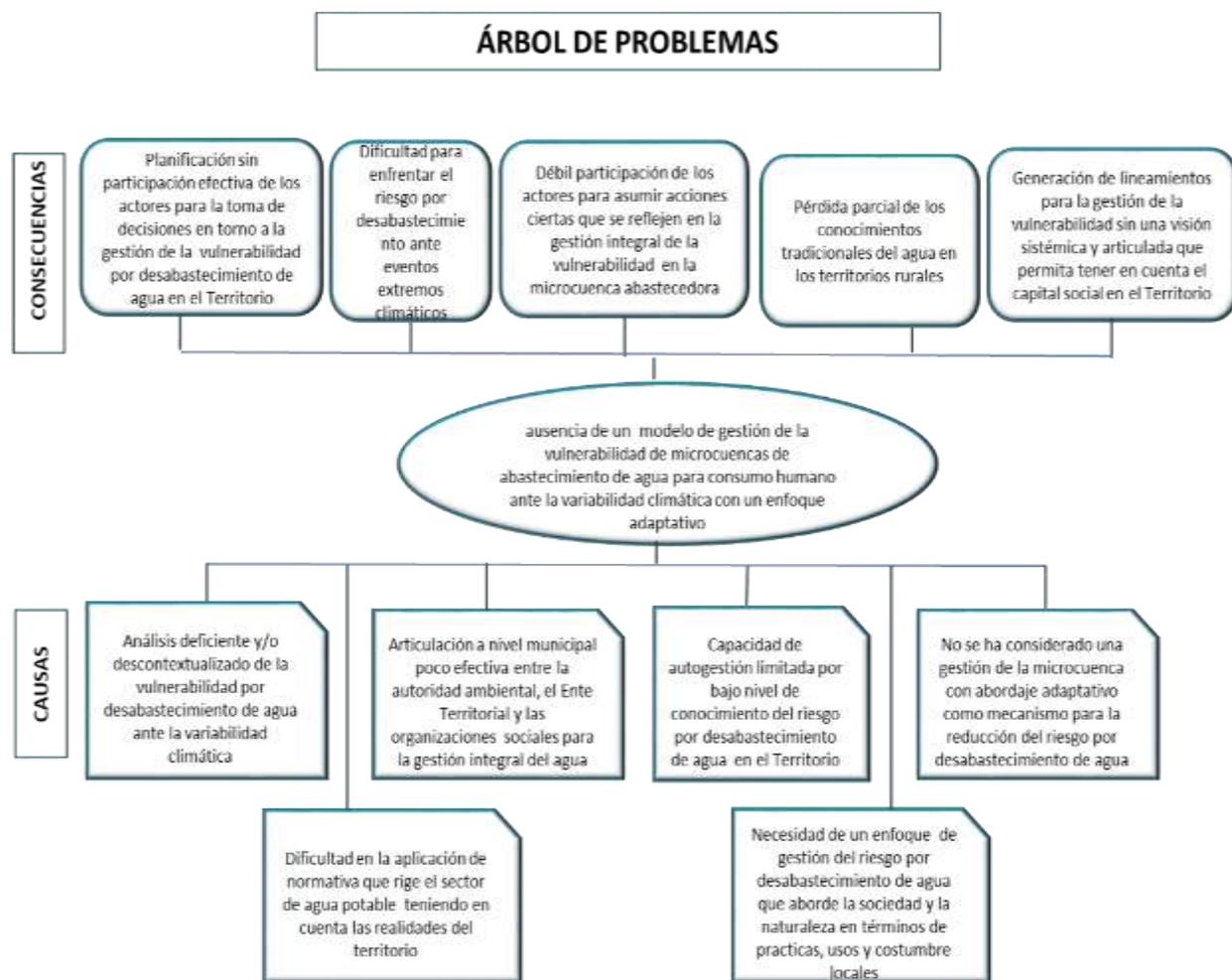


Figura 1. Árbol del problema para abordar la gestión de la Vulnerabilidad en microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática

1.2 Abordaje desde las Ciencias Ambientales

Las ciencias ambientales como ciencias integradoras se comienzan a desarrollar a finales de los años Sesenta (Proctor, Clark, & Smith, 2013); las cuales surgen ante la necesidad de comprender y encontrar soluciones a la grave y compleja crisis ambiental en sus relaciones naturaleza-sociedad-cultura, situación de la que se ha tomado conciencia en las últimas décadas. En este sentido, el abordaje de las Ciencias ambientales requiere integralidad, interrelación y complementariedad, considerando la teoría general de sistemas y la teoría en sistemas complejos, además del papel de transformación y adaptación que demanda la sociedad (Recaman, 2017).

Así planteado, siendo conscientes que las problemáticas ambientales actuales requieren enfoques novedosos y participativos, se propone la presente investigación que aborda la vulnerabilidad de una microcuenca abastecedora ante la variabilidad climática de una manera holística, para generar una propuesta de gestión con enfoque adaptativo, que contribuya en los aspectos conceptual, metodológico y práctico, dando un valor a la capacidad adaptativa de las comunidades e instituciones, que considera la integración de varias disciplinas, saberes y actores, y atiende una metodología constructivista desde la base del socioecosistema hacia el tomador de decisiones y no como tradicionalmente se hace, incorporando metodologías ajenas a la realidad del territorio.

Se proyecta de esta manera un modelo de gestión integral a partir del cual se puedan generar planes y programas relacionados con la planificación, administración, control y seguimiento de los recursos en materia hídrica, buscando con ello mejorar las acciones de conservación y manejo, al igual que la disponibilidad del agua en cuanto a niveles de calidad y

cantidad. Así mismo, diseñar acciones que aporten al uso eficiente de este recurso, basadas en proyectos de asistencia técnica que posibiliten el uso de herramientas y procedimientos para la adecuada gestión del recurso hídrico.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Generar un modelo de gestión integral con enfoque adaptativo, de la de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática en una microcuenca abastecedora, a partir de un caso de estudio en el municipio de Timbío (Cauca).

Objetivos Específicos

1. Identificar los factores de vulnerabilidad de la microcuenca abastecedora ante la variabilidad climática.
2. Analizar la vulnerabilidad de la microcuenca por desabastecimiento de agua ante la variabilidad climática.
3. Proponer los lineamientos para la gestión integral con enfoque adaptativo de la microcuenca abastecedora e integrarlos en un modelo.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico - GIRH y Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH

A partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano – CNUMH, realizada en Estocolmo en 1972, se ha manifestado la necesidad de una gestión apropiada del agua; evidente a través de los principios número 2, 4 y 5 que promovió el establecimiento de la

Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1983) donde se emitió el informe “Nuestro futuro común” en 1987, en el cual se presentó el desarrollo sostenible como principio común que orienta la búsqueda del bienestar de las naciones, estableciéndose el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y, posteriormente, la publicación del reporte de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987).

Desde el punto de vista específico del manejo del agua, la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente – CIAMA, llevada a cabo en Dublín en 1992, promovió el diálogo entre expertos (gubernamentales y no gubernamentales) para plantear los cuatro principios fundamentales que orientan la gestión integral de los recursos hídricos como concepto, a partir del entendimiento de los múltiples usos del agua, las sinergias que existen entre ellos y el bienestar de las comunidades, estos son: i) El agua es un recurso finito y vulnerable, esencial para el sostenimiento de la vida, el desarrollo y el entorno, ii) El desarrollo de los recursos hídricos y su manejo deberá basarse en un enfoque participativo, involucrando a todos los usuarios, planificadores y formuladores de políticas en todos los niveles, iii) La mujer juega un papel central en la provisión, manejo y protección del agua y iv) El agua tiene un valor económico y social en todos sus usos y debe ser reconocida como un bien público (CIAMA,1992).

Posteriormente, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en 1992 en Río de Janeiro, es cuando se da la denominación de Gestión Integral del Recurso Hídrico – GIRH al proceso que ya se venía discutiendo tiempo atrás, dadas sus implicaciones en la práctica. En este sentido, hacia el año 2000 la Asociación Mundial para el Agua – GWP define la GIRH como “un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de

maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (Global water partnership, 2002), entendiendo la sostenibilidad como principio que refiere la capacidad que tienen los socioecosistemas para mantener en el tiempo una dinámica de bienestar, la cual resulta del balance y la complementariedad entre los objetivos ecológicos, sociales, institucionales e inmateriales en una escala espacial y temporal definida (Gallopín, 2006; Martínez, 2017).

En Colombia, bajo la influencia de la Cumbre de Río (1992), se adoptó la Declaración de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, acogiendo los lineamientos generados en materia de gestión de los recursos hídricos. Con la expedición de la ley general ambiental de Colombia en 1993 se creó el Ministerio del Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como ente rector de la política ambiental y se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA. Posteriormente se organizaron competencias y responsabilidades de los actores institucionales relacionados con agua y saneamiento, se reguló el uso de elementos de la naturaleza y se definió la intervención del gobierno en funciones de regulación, inspección y vigilancia mediante la Ley 99 de 1993 y la Ley 142 de 1994 (Zamudio, 2012).

El Plan Nacional de Desarrollo-PND (2006-2010), incorporó por primera vez un componente específico de la GIRH, donde se propuso la formulación de una política nacional a partir de experiencias internacionales en el marco del desarrollo sostenible. Además, con esta política se establecen directrices unificadas sobre el manejo del agua, que apuntan a resolver la problemática del recurso hídrico, permiten hacer uso eficiente y preservarla como patrimonio natural para el bienestar de las generaciones futuras. Sus objetivos específicos son: i) Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país, ii) Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país, iii) Mejorar

la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico, iv) Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua, v) Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico y vi) Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

No obstante, el panorama no parece ser tan alentador a pesar de los objetivos propuestos, debido a que cuencas como, por ejemplo, la del río Cauca se ven cada vez más expuestas a micro contaminantes provenientes de los agroquímicos utilizados en cultivos de diversos productos, además de enfrentar la contaminación producida por los asentamientos humanos, situación que no solo afecta al recurso hídrico, sino que adicionalmente puede producir diversas enfermedades en los individuos que hacen uso del mismo. En este contexto, a pesar de que las directrices están centradas en la protección, cuidado y mantenimiento de los recursos, la realidad establece un panorama diferente, en el cual las gestiones sociales y del Estado no parecen responder a la misma velocidad en que se producen los daños como lo afirma la Red Institucional del Cambio Climático y Seguridad Alimentaria (2016).

Así planteado el análisis de la interacción sociedad - naturaleza (ecosistemas) no se debe abordar aisladamente de las relaciones intrínsecas y extrínsecas que se generan, pues en este relacionamiento se propician los procesos de interacción, sinergia, complementariedad de todos los componentes del socio - ecosistema (Joaqui, 2017), lo cual da como respuesta una propiedad emergente de un nivel ecológico, debido a la interacción funcional de los componentes y por lo tanto no puede ser predicha del estudio de los componentes aislados de la unidad (ecosistema).

Lo cual requiere procesos de acoplamiento transformación y adaptación mutuas, que muy posiblemente se realicen en diferentes escalas de tiempo y necesariamente en niveles jerárquicos complementarios, generando afectaciones para la sociedad y perturbaciones en los ecosistemas, que se reflejan en la utilidad que estos aportan para la subsistencia y bienestar del hombre y la degradación sobre los componentes del sistema natural (ecosistemas) a consecuencia de las acciones generadas por la sociedad.

1.4.2 Gestión Adaptativa – Resiliencia – Gobernanza

Al referirse a la GIRH, es importante mencionar aspectos de la relación hombre - naturaleza desde el enfoque sistémico, en este sentido, Joaqui (2017) plantea que; la relación entre la sociedad y la naturaleza es mediada por los servicios que ofrecen los ecosistemas, las dinámicas extractivas y de producción a nivel artesanal e industrial, donde el hombre interactúa con el sistema natural a través de los procesos de gestión (Joaqui, 2017), los cuales se pueden evidenciar en la gobernanza, el aprendizaje local – científico, las fronteras del conocimiento y la expresión de los saberes; la socialización y difusión de este relacionamiento se realiza a partir de las redes sociales existentes y se fundamenta en la confianza para la gestión del sistema, por parte de las instituciones y las comunidades. Dando origen así a la articulación sociedad-naturaleza que se denomina socioecosistema (Berkes, Colding, & Folke, 2003; S. Vilarly, 2009).

Se presentan tres conceptos fundamentales que permiten complementar la GIRH, como planteamiento central que promueve convergencias múltiples desde el ámbito académico, para fortalecer el abordaje sistémico requerido en el manejo del agua bajo la premisa de sostenibilidad son: la gestión adaptativa, la resiliencia y la gobernanza.

1.4.2.1 Gestión Adaptativa

A este respecto, inicialmente se hace una reflexión sobre el concepto de adaptación; según Joaqui (2017) la adaptación es la capacidad con la cual el ecosistema genera alternativas que permiten a sus componentes armonizar o acoplar procesos al medio (Joaqui, 2017); el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC define la adaptación como la reacción a los cambio climáticos, las cuales le permiten al sistema acoplarse al cambio disminuyendo los daños potenciales, y aprovechar las oportunidades (IPCC, 2007). En este orden de ideas, mantener la capacidad de absorber perturbaciones sin sufrir cambios en la estructura o función de los sistemas socioecológicos depende de la capacidad de adaptación, expresado de otra manera, es la capacidad de renovarse o reorganizarse frente al cambio (Fazey et al., 2007; Holling, 2001), por esta razón los sistemas con alta capacidad de adaptación pueden reconfigurarse frente a cambios sin descensos significativos en las funciones esenciales socioecosistema (Folke, 2006). Este último entendido como una mixtura de relaciones en torno a recursos que son necesarios para el adecuado desarrollo de la vida de los seres humanos, en la cual no solo intervienen factores ambientales, sino además sociales e institucionales (Ostrom, 2009). De esta manera, cabe resaltar que su base no se centra en la identificación de problemas de corte ecológico sino de las interacciones que en este campo se establecen con los grupos humanos en entornos específicos.

En la década del setenta se empieza a relacionar el concepto de gestión adaptativa con la capacidad de los sistemas para ajustarse al cambio (Holling, 1978), también hay que tratar elementos del cómo hacerlo, a este respecto surge por primera vez, el cual se basa en la puesta en marcha de políticas a modo experimental, pues los resultados de la implementación

de las políticas son impredecibles, como innovación metodológica dentro de la gestión de los recursos (Nyberg, 1999).

En la gestión adaptativa se reconoce que muchas políticas y actividades de gestión son en realidad experimentos porque sus resultados no son predecibles. En este proceso, la experimentación se lleva a cabo de diversas formas para revelar los vínculos desconocidos entre las acciones de gestión y las respuestas o salidas de los sistemas. Esto se logra mediante la combinación de conceptos de investigación científica y protocolos de gestión. El resultado son herramientas que pueden ayudar a resolver muchos problemas que bajo otros escenarios son inviables (Nyberg, 2009).

En esta línea, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE introduce el modelo de cogestión adaptativa, el cual facilita el encuentro y diálogo entre las autoridades locales, las organizaciones de base, organizaciones nacionales con vinculación local y otros grupos de interés, como la empresa privada, organizaciones de desarrollo y universidades, con el propósito de desarrollar agendas de acción compartida con participación efectiva, el empoderamiento de los actores según sus responsabilidades e interés, la eficiencia en la asignación de recursos humanos y financieros de manera que se generen impactos positivos, tangibles y medibles en la calidad y cantidad de agua y, en general, en la calidad de vida (Kammerbauer et al., 2014).

Ambas formas de abordar la gestión adaptativa reconocen cogestión de las comunidades, atienden la no linealidad de los sistemas socioecológicos y la necesidad de emplear enfoques múltiples, cuyo fin es el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, al igual que el de las microcuencas mediante la observación y reflexión de los resultados, el aprendizaje

continuo, la retroalimentación y reajuste de métodos, a la luz del conocimiento adquirido con la acción reflexionada.

En consecuencia, Kofi Akamani (2016) indica que la gestión adaptativa de las microcuencas presenta cuatro atributos: i) Integración ser humano - naturaleza a partir de dinámicas sostenibles que permitan a los colectivos subsistir sin afectar los recursos ambientales; ii) diálogos de saberes; iii) articulación de objetivos particulares y el iv) involucramiento de actores externos en la toma de decisiones; en este sentido, la gestión adaptativa puede contribuir con la sostenibilidad, una buena gobernanza, el manejo de conflictos y resiliencia socioecológica (Akamani, 2016).

1.4.2.2 Resiliencia

Los ecosistemas atraviesan ciclos irregulares de organización, crecimiento, colapso y renovación (Holling, 2001). Por lo tanto, para interpretar la dinámica de un sistema particular, como es el caso de las microcuencas abastecedoras, desde su gestión y manejo se deben definir las condiciones de la resiliencia; entendiéndola como la capacidad que tienen los sistemas socioecológicos para soportar una perturbación (Figuroa y Valencia, 2009; Joaqui y Figuroa, 2014). El concepto de resiliencia parte del reconocimiento del cambio continuo de los sistemas, como estrategia para gestionar la capacidad que tienen los socioecosistemas de hacer frente, adaptarse y cambiar. Así planteado, la resiliencia debe entenderse como la capacidad del sistema para absorber la perturbación y reorganizarse, al tiempo que experimenta el cambio, reteniendo esencialmente las mismas funciones, estructura, identidad y retroalimentaciones (Duarte et al., 2006; Walker & Salt, 2012).

Adicionalmente, la resiliencia implica el mantenimiento de opciones para un entorno que cambia rápidamente, donde la sorpresa es constante, enfrentando a un futuro impredecible, por

lo que la resiliencia tiene una mirada hacia el futuro (Berkes et al., 2003). La resiliencia y la vulnerabilidad tienen significados opuestos, pero complementarios (Folke et al., 2002), es así como el cambio en un sistema resiliente tiene el potencial de crear oportunidades para el desarrollo, la innovación y auto-organización; por el contrario, en un sistema vulnerable se reduce el nivel de adaptabilidad y la posibilidad de transformarse para lograr perdurar en el tiempo.

Bajo este contexto, se puede plantear que un ecosistema con una resiliencia baja es susceptible a perturbaciones externas y es propenso a una variedad de tensiones y cambios, su baja capacidad de adaptación le impide reducir los daños que pueda sufrir en el futuro. Gestionar la resiliencia de los ecosistemas tiene por tanto consecuencias en la subsistencia, la vulnerabilidad, seguridad y conflictos de la sociedad humana (Gunderson et al., 2017; Folke et al., 2002; Holling y Meffe, 1996; Mittelbach et al., 1995; Holling, 1973).

Cuantificar la capacidad de resiliencia de un sistema ante una perturbación, podría abrir importantes caminos para la comprensión de los ciclos adaptativos de los sistemas (Carpenter, Walker, Anderies, & Abel, 2001; Walker & Salt, 2012) y contribuir con la reducción de los espacios que existen en las brechas conceptuales para la comprensión de la resiliencia y la adaptación en el marco de los socioecosistemas. Aunque es preciso plantear que la resiliencia puede no ser ilimitada, debido a que algunos daños hechos por el hombre pueden ser irreparables, llegando a un punto de no retorno, en el cual un determinado ambiente ya no es capaz de recuperar sus características naturales iniciales y se transformará en otro tipo de ambiente. Esto hace de la resiliencia una opción frente al desarrollo de acciones ambientales, pero no asegura en todos los casos un efecto positivo.

1.4.2.3 Gobernanza

Aquí es pertinente hacer un análisis de algunos precedentes que marcan hito en la génesis de la gobernanza, en 1962 se publica el libro “*Primavera Silenciosa*” uno de los primeros textos de divulgación y concientización del impacto que tiene la industria sobre el ambiente escrito por la bióloga y conservacionista Rachel Carson, en este texto se hace un análisis desde la mirada científica de la contaminación del suelo a partir de precursores químicos el cual genera un deterioro en ecosistema, lo cual plantea una preocupación global del deterioro de los sistemas naturales.

Dos décadas después de la publicación de “*The tragedy of the commons*”, Elinor Ostrom (1990) en su posición crítica de los discursos basados en el sentido común y el autoritarismo de las panaceas políticas, en su escrito uno de sus pilares es la necesidad de investigación empírica y sistematización conceptual como fundamento de los esquemas de gobernanza de bienes y sistemas comunes particulares; aquí también ella reconoce la relevancia de actores locales en los procesos de conservación o deterioro de los bienes comunes, incluso en aspectos globales como la regulación climática, es trascendental este aporte pues además de reconocer que en la gobernanza la participación de actores locales clave para la conservación, pero también para el deterioro (Perez, 2014), además, Ostrom con esta visión crítica develo la falencia de otros paradigmas del pensamiento social, económico y jurídico contemporáneo, prevalentes en particular en los análisis sobre las relaciones sociedad - naturaleza.

Siguiendo con el análisis, autores como Mayntz, señalan que: “la gobernanza se utiliza ahora con frecuencia para indicar una nueva manera de gobernar que es diferente del modelo de control jerárquico, un modo más cooperativo en el que los actores participan en redes mixtas público-privadas” (Mayntz, 2006), la gobernanza se caracteriza por adoptar una

perspectiva más cooperativa y consensual de la que se había dado en los modelos tradicionales de gobernar (Kohler-Koch & Eising, 1999; Mayntz, 1998; UNGRD, 2017), involucra procesos formales e informales en la toma de decisiones entre los actores públicos y privados con intereses similares u opuestos (Jong & Ruíz, 2007; Ruiz & Gentes, 2008).

Siendo la gobernanza algo flexible y el aprendizaje continuo para co ayudar la toma de decisiones que involucran actores formales y no formales, que implica construcción y gestión de conocimiento, comprensión de la dinámica del ecosistema y sus servicios, lo cual permite evidenciar la estrecha interacción de actores individuales, redes sociales, organizaciones e instituciones, que permite o dificulta a las sociedades nutrir el capital natural e implementar la gestión del ecosistema (Schultz, Folke, Österblom, & Olsson, 2015).

Ahora bien, hablar de gobernanza ambiental entendido como la toma de decisiones y de ejercicio de autoridad en el ámbito de los bienes públicos, en los cuales interactúan instituciones gubernamentales, empresas privadas y la sociedad civil. Donde los marcos regulatorios en algunos casos deben fijarse para establecer límites y las restricciones en el uso de los recursos naturales y los ecosistemas, con el propósito de evitar usos excesivos e indebidos, siendo la prioridad el abastecimiento para consumo humano y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos (Orjuela, 2014), la participación de los actores líderes el clave para el uso adecuado de los recursos, mediante el establecimiento de relaciones entre diversas organizaciones y sociedad civil que están involucrados en el manejo y uso de los servicios ambientales.

En este sentido, la gobernanza se relaciona en cierto grado al modelo de redes donde se involucran diferentes actores cuya interacción es crucial para enfrentar las problemáticas y propende por un cambio en el ejercicio de la administración pública mediante la coordinación y

organización de un espacio deliberativo, basado en la confianza, la participación y el control social (Ruiz & Gentes, 2008); es la habilidad en el diseño compartido de políticas públicas y estructuras institucionales socialmente aceptadas (Rogers & Hall, 2003; Ruiz & Gentes, 2008). Donde la gobernanza es quien generara las condiciones capacidades para que los actores no solo interactúen entre ellos, sino también en la manera como lo hacen, es decir, se forja como una herramienta indispensable en la cual se estudia la manera en que el Gobierno transforma las necesidades de su Estado en políticas, facilitando que la exclusión no haga parte de estas y, por el contrario, actúa como ente equitativo y responsable de su eficiencia. Un aporte interesante a este análisis es precisamente el enfoque de redes, que puede referirse a los cambios de poder, en la gobernanza se considera que considera que, debido a la diversidad de actores, el poder no viene desde la jerarquización, sino de negociaciones y aprendizajes continuos e e incesantes de las comunidades en este caso (Graña, 2005).

Hay que decir que la gobernanza está relacionada con la gobernabilidad, esta última como cualidad de la comunidad política en la cual las instituciones del gobierno junto con la acción legítima de los ciudadanos actúan en el pleno ejercicio de poder y obediencia por parte del pueblo (Rey, 2009). Como se ha mencionado en los párrafos precedentes, la gobernanza genera las condiciones y las capacidades para que los interactúen entre ellos, las maneras de hacerlo hacen, analizando como el Gobierno transforma las necesidades de su Estado en políticas, de esta forma se garantiza la inclusión, velando por la eficiencia.

Por lo anterior y dado que los socioecosistemas no son lineales ni predecibles, la implementación de la estrategia de gestión para afrontar el cambio debe ser creativa, flexible, coordinada, concertada y con capacidad de aprendizaje local, por eso es importante considerar las condiciones para establecer una gobernanza del agua fomentando la descentralización y

dispersión de poder entre instancias gubernamentales y no gubernamentales (Andrew & Goldsmith, 1998; Ruiz & Gentes, 2008); que procure incrementar la participación social sin exclusiones, compartir la responsabilidad de conservación del recurso hídrico, multiplicar el valor de la transparencia y comunicación en la red de actores y establecer un régimen regulatorio que incluya equitativamente las diversas necesidades e intereses sociales (Solanes & Jouravlev, 2006).

1.4.3 Microcuenca como un Socioecosistema

Los SE se pueden considerar como sistemas adaptativos complejos debido a que presentan atributos como la trayectoria histórica, la no linealidad, la incertidumbre, las jerarquías y las propiedades emergentes (Berkes et al., 2003). En los SE, se integra la naturaleza, la sociedad y las instituciones como un todo, que interactúan de manera dinámica en tiempo y espacio en diferentes escalas (G. C. Gallopín, 2006; S. Vilarly, 2009) conformando sistemas adaptativos y auto-organizativos (Martín-López, González, & Vilarly, 2012). Por otra parte, una microcuenca se cataloga como una unidad geográfica que reúne usualmente varios ecosistemas donde habitan familias que utilizan y manejan los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación para sus actividades cotidianas, el hombre emplea los bienes y servicios que esta unidad brinda para su bienestar (Melville, 2000; Santacruz de León, 2007).

En consecuencia, los sistemas sociales y los ecosistemas están estrechamente vinculados y, por tanto, la delimitación exclusiva de un ecosistema o de un sistema social resulta arbitraria y artificial (Martín-López et al., 2012). El vínculo ecológico y social está mediado por los servicios que ofrecen los ecosistemas; en los SE la dimensión humana se relaciona con el sistema natural a través de los procesos de gestión, donde las redes sociales

juegan un papel importante ya que fundamentan la confianza requerida entre los diferentes actores para la gestión del sistema (Berkes et al., 2003; S. P. Vilaridy et al., 2012).

Así, las microcuencas se entienden para el presente estudio como un sistema socioecológico por ser un espacio donde interactúan recursos naturales y sociales en un proceso permanente y dinámico a través de organizaciones, proyectos y/o cosmovisiones (Dourojeanni & Jouravlev, 2002).

1.4.4 Vulnerabilidad de Microcuencas Abastecedoras ante el Cambio Climático y la Variabilidad Climática

De acuerdo con Adger (2006) la vulnerabilidad es el estado de susceptibilidad al daño por exposición a tensiones asociadas con cambios ambientales y sociales, y la falta de capacidad de adaptación. Por lo tanto, el análisis de la vulnerabilidad y la resiliencia tienen elementos comunes pues ambos abordan los efectos adversos y tensiones experimentados por el socioecosistema (Adger, 2006), siendo la capacidad de adaptación la respuesta determinante del SE ante la tensión.

Por su parte, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático – IPCC define la vulnerabilidad como la medida en que el cambio climático puede alterar adversamente un sistema y depende de: i) la sensibilidad y ii) su capacidad de adaptación a nuevas condiciones climáticas (IPCC, 2007).

Adicionalmente, el IPCC (2014) reconoce que la vulnerabilidad es dinámica y específica según el contexto en que se estudie y se rige por el comportamiento del ser humano y la organización misma de la sociedad; esto influye en la susceptibilidad de la población y dependerá de la adaptación de la misma ante amenazas, refiriéndose esta última a las capacidades que permiten a un sistema protegerse a sí mismo cuando se enfrenta a distintas

adversidades en un proceso a largo plazo que envuelve ajustes en el propio sistema y que concierne aprendizaje, experimentación y cambio (IPCC, 2014).

Según Valencia et al. (2014), la conceptualización de la vulnerabilidad en los últimos años ha pasado de una visión mono disciplinar a la integración de diferentes áreas del conocimiento para llegar a un abordaje interdisciplinar de los componentes de los socioecosistemas; los desarrollos de procedimientos metodológicos de análisis surgen a partir de su abordaje transdisciplinar (Valencia et al., 2014). Sin embargo, los modelos de análisis en su gran mayoría están orientados a conocer la vulnerabilidad social y en algunos casos incluyen la vulnerabilidad biofísica ante una amenaza específica y son abordados tradicionalmente desde la ingeniería, la geografía y las ciencias sociales.

En consecuencia, en los últimos años se ha prestado una atención creciente al análisis de la vulnerabilidad del sistema socioecológico, en este caso la microcuenca, frente a la pérdida o degradación de los servicios ecosistémicos (para el caso el servicio ecosistémico de abastecimiento de agua). El marco conceptual para la evaluación de la vulnerabilidad social y ecológica aborda tres desafíos: establecer conceptualmente diferenciar entre amenaza, exposición y sensibilidad tanto del sistema ecológico como del social; considerar las características de los beneficiarios incluyendo aspectos como tipo de necesidad que se satisface, usos del recurso hídrico, disponibilidad de mecanismos y/o herramientas para el acceso y percepción de los beneficiarios frente a la amenaza (Berrouet, Machado, & Villegas-Palacio, 2018).

La revisión de los antecedentes conceptuales e históricos de la gestión integral del agua en contextos internacionales y en Colombia se puede identificar que su relevancia radica en que el análisis se realiza desde la vinculación de tres conceptos complementarios como lo son:

la gestión adaptativa, la resiliencia y la gobernanza, que permiten una visión sistémica fundamental para la gestión del agua en el marco de la sostenibilidad; en consecuencia se plantea la microcuenca como un socioecosistema dadas las características intrínsecas para proveer agua para diferentes usos, siendo estos afectados por el cambio climático, haciendo un análisis de la vulnerabilidad de microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática desde un planteamiento crítico de la problemática en la región en términos de gestión.

Antes de hablar de la gestión integral, es importante hacer referencia a los servicios ecosistémicos; de acuerdo con la propuesta de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio-MEA, por su sigla en inglés, se unifican diferentes enfoques y se asumen los ecosistemas naturales y transformados como proveedores de servicios, además se proponen cuatro categorías: de soporte o aprovisionamiento, abastecimiento, regulación y culturales. Los servicios de regulación hídrica son vitales para el bienestar humano; provienen directamente de los ecosistemas, sin pasar procesos de transformación, como el agua. La regulación del ciclo hidrológico es uno de los servicios de mayor impacto a nivel global, su alteración afecta directamente sobre las poblaciones más vulnerables, que dependen de este servicio para obtener agua para consumo humano. La identificación, uso y regulación de estos servicios no es un tema sencillo de tratar, se hace necesario considerar los patrones de producción y consumo humano, los cuales deben ser compatibles con las acciones de sustentación de la biodiversidad y los ecosistemas; situación que involucra a sectores políticos, sociales, académicos y económicos, en busca de aportes y alianzas que realmente contribuyan con el desarrollo de sistemas de gestión que se instalen acertadamente en la dinámicas productivas actuales, cuya realidad se basa más en un sentido economicista que medioambiental, al ser un

aspecto de relevancia en todos los sectores, se han desarrollado acuerdos, políticas, comunicados y demás herramientas desde diversas instancias en procura de una mejor comprensión y gestión del agua.

1.5 Estado del Arte

1.5.1 Gestión Integral del Recurso Hídrico en Microcuencas Abastecedoras

En un ámbito internacional, el informe de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa - CEPE presenta una visión general de la aplicación de los principios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos-GIRH y las reformas del sector del agua en los países de Europa oriental, el Cáucaso y Asia central y está estructurado de acuerdo con los principios de la GIRH y describe los esfuerzos para crear marcos institucionales y legales y poner en práctica dichos principios en estos países. También se detalla la contribución de los diálogos nacionales de políticas a este proceso y se ofrecen conclusiones y recomendaciones para el futuro desarrollo de los diálogos nacionales de políticas sobre la GIRH. En este documento implementan el término organización de cuenca fluvial-RBO, por su sigla en inglés, el cual es general y abarca una amplia gama de organizaciones de diferente índole, áreas de aplicación y responsabilidades. El documento caracteriza la RBO en términos de comisiones, autoridades, agencias y asociaciones, desde lo funcional y legal.

En este sentido, el aporte del estudio es que la gestión de los recursos hídricos sin la participación de las partes interesadas en la toma de decisiones es altamente ineficaz; las organizaciones de microcuenca se presentan como el elemento fundamental para la gestión, presentando la tipología de organizaciones que se pueden encontrar en la cuenca, sus limitaciones y alcances, mencionando que la participación efectiva de los interesados está mediada por la necesidad de descentralización de las políticas.

Por otra parte, en el Informe sobre el estado de aplicación de enfoques integrados para el desarrollo, la gestión y el uso de los recursos hídricos (MADS, Osorio Zapata, ONU, & IDEAM, PNUD, MADS, DNP, 2015) se dan orientaciones sobre el establecimiento de un marco regular de monitoreo y elaboración de informes a nivel internacional que contribuyan con la promoción del desarrollo sostenible y de la gestión de los recursos hídricos. Un apartado de este mismo documento refiere en qué medida los países han podido aplicar herramientas y métodos que permiten y ayudan a los que toman decisiones para la gestión integrada de los recursos hídricos. Al respecto menciona que muchos países han avanzado con una gestión de la información más coordinada, estructurando un sistema nacional de información sobre recursos hídricos con resultados positivos, pero no siempre se da prioridad al desarrollo de la recopilación de datos en la medida necesaria para la toma de decisiones. Lo que se reporta en este documento son las herramientas relacionadas con los sistemas de información que las diferentes regiones del mundo tienen para compartir datos y generar información, sin embargo, no se aprecian aspectos relacionados con la gobernanza y la gestión del conocimiento por partes de las organizaciones de base.

A nivel nacional se han realizado estudios que tangencialmente trabajan temas relacionados con la GIRH, entre ellos se destaca un estudio cuyo objeto es establecer lineamientos de gestión integral para el manejo del recurso hídrico en el Interfluvio Inchiyaco-Tambor del Municipio de Piamonte, departamento de Cauca (Ospina, 2009). En este se priorizan las problemáticas y acciones para la implementación de la GIRH en el área del proyecto, teniendo en cuenta la articulación institucional y el fortalecimiento organizacional de las comunidades campesinas, afro-descendientes e indígenas que habitan en el territorio. El trabajo tiene como foco la articulación inter-institucional y el fortalecimiento organizacional de

las comunidades. Concluye que el buen desempeño de éstas depende de viabilizar y consolidar canales de comunicación. La propuesta, hace un diagnóstico biofísico y social en el área de estudio, no obstante, su alcance se centra en presentar recomendaciones de articulación o comunicación, pero no aborda el desarrollo de acciones de gestión y generación de herramientas.

Continuando con esta línea, en el departamento del Cauca se ha llevado a cabo la propuesta para la gestión integrada del recurso hídrico en la microcuenca de la Quebrada de los Huevos (Ruiz S, 2017); trabajo donde se analiza la problemática en términos de la presión de demanda de agua para consumo humano, tanto en la zona urbana del municipio de Patía, como en el área rural. En este contexto, se encuentra que la normatividad ambiental para la microcuenca no se cumple, esto por falta de presencia de la institucionalidad del Estado que tiene que ver con el recurso hídrico. En términos biofísicos, la presión antrópica ha dejado las zonas de recarga de la microcuenca deterioradas, sin embargo, los relictos de bosque que se encuentran permiten que la calidad del agua en la Fuente sea buena; durante el análisis se encuentra además que las acciones de implementación que se han intentado realizar en la zona no han prosperado por falta de articulación interinstitucional debido a que hay una fractura entre las organizaciones de base y la institucionalidad que representa el Estado en el territorio, en esta situación se devela, tal como ha sido planteado en documentos de carácter internacional, que lo esencial para la implementación de los principios de la GIRH es el trabajo y fortalecimiento de las organizaciones de base en la región.

1.5.2 Gestión del Riesgo e Implementación de la Gestión Integral del Recurso Hídrico

Como resultado del diagnóstico de la gestión del recurso hídrico en Colombia en 2013, se identificó que el riesgo está relacionado con el manejo y gestión del déficit y exceso de agua, asociado a la gestión de las cuencas hidrográficas deterioradas; a la pertinencia de los proyectos hidráulicos con el conocimiento de la variabilidad climática e hidrológica del país, el crecimiento no planificado de la demanda sobre una oferta neta limitada y conflictos por el uso del agua y las deficientes e inadecuadas acciones para la gestión del riesgo por eventos socio naturales que afectan la disponibilidad recurso. Con respecto a las amenazas naturales, los fenómenos que más influyen son la variabilidad climática y el cambio climático; El Niño y La Niña son los fenómenos de la mayor variabilidad climática interanual en la zona tropical y tienen influencia directa en el país frente a la generación de eventos extremos de temperatura y precipitación, y a los cuales están asociados los episodios más conocidos de desabastecimiento (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS, 2013).

Es así como en el marco del Programa de Reducción de la Vulnerabilidad del Estado frente a Desastres Naturales, se desarrolló un proyecto orientado al apoyo a municipios y Prestadores de los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en la gestión del riesgo, que incluía la implementación de procesos de asistencia técnica y la formulación de metodologías orientadas a la estimación y reducción de riesgos en el sector; a partir de este punto se regula la gestión del riesgo en Colombia mediante la Ley 1523 de 2012, lo que presentó un reto para la formulación de una política desde el sector de agua y saneamiento básico que incorporara la gestión del riesgo con un enfoque integral (PNGIBSE, 2012).

1.5.3 Análisis de la Vulnerabilidad de Microcuencas Abastecedoras ante la Variabilidad Climática

A nivel global Pandey et al. (2010) analizan la vulnerabilidad de las cuencas medianas y grandes de los ríos de Nepal ante los cambios ambientales. El estudio se realiza mediante la evaluación de la disponibilidad de los recursos hídricos, su desarrollo, uso y la capacidad de gestión mediante el uso de un conjunto de indicadores indirectos o índice compuesto. Los resultados sugieren que los recursos hídricos en las cuencas de los ríos medianos son más vulnerables que cuencas grandes; además concluye que la vulnerabilidad de las cuencas de Nepal está más relacionada con la falta de capacidad de gestión.

Por su parte, Hall y Murphy (2010) analizan la vulnerabilidad de la cuenca del río Moy en el oeste de Irlanda, aplicando la herramienta WEAP21 por desabastecimiento de agua a futuro. Se analiza la vulnerabilidad desde un enfoque integral para la planificación de los recursos hídricos que incluye: información de participación de los actores relacionados, balance hídrico, simulaciones de balance y escenarios de políticas de uso de agua. El resultado del estudio es que existe alta vulnerabilidad y necesidad de desarrollar y evaluar diferentes opciones de adaptación con el fin de anticipar y mitigar los escenarios esperados. Farley et al. (2011) analizan la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático en la cuenca del río McKenzie en las cascadas de Oregon, EE.UU. El estudio se realizó mediante análisis participativo entre la comunidad y los tomadores de decisión, concluyendo que el cambio climático puede aumentar o disminuir el caudal de la Fuente abastecedora pero su impacto varía de acuerdo con los usos del agua.

En Colombia, Ocampo (2012) analiza la vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná - Caldas para condiciones estacionarias y de cambio climático. El estudio se realizó mediante la

estimación de las alteraciones en las variables climatológicas, en el régimen hidrológico y en la oferta hídrica por variabilidad climática. Se encontró una alta vulnerabilidad hídrica de la cuenca a los cambios climáticos. De igual modo, Córdoba y Melo (2016) analizan la vulnerabilidad por disponibilidad de agua en la microcuenca Quebrada-Negra de la vereda Piluma, Municipio de Sasaima, Cundinamarca, proponiendo una aproximación metodológica para el cálculo de la vulnerabilidad considerando los parámetros que determinan la demanda, oferta y retención. El método propuesto se valida mediante el estudio de caso. Roa y Brown (2009) analizan la vulnerabilidad a la variabilidad climática de la cuenca los saínos, municipio de El Dovio, a través de investigación participativa con jóvenes entre los 9 y 17 años. El enfoque de este análisis fue la evaluación del uso del agua por tipo de actividad, calidad, disponibilidad y uso del suelo. La vulnerabilidad a la variabilidad climática resultó alta debido a la limitada capacidad para almacenar agua y poca capacidad del ecosistema para regular los bajos caudales.

En el departamento del Cauca a través del proyecto AQUARISC de la Gobernación del Cauca (2019) se aborda la vulnerabilidad desde el enfoque de socioecosistemas, teniendo en cuenta las interacciones de los actores en el territorio con una visión integral de los sistemas complejos a escalas de trabajo diferentes, incluyendo elementos estáticos, dinámicos y atributos a considerar tales como la calidad y la cantidad del recurso hídrico. El enfoque de sistemas socio-ecológicos permite realizar un análisis desde la dimensión natural, social y sus interacciones para abordar la vulnerabilidad y la gestión del riesgo, considerando además una perspectiva institucional y de gobernanza, dando lugar a un conjunto de relaciones recíprocas entre los actores involucrados que aportan a la evolución de los sistemas como un todo sustentable, gracias a la generación de políticas y dinámicas que no se enfocan solo al crecimiento económico.

La Corporación Autónoma Regional del Cauca (2015) analizó la vulnerabilidad ante el cambio y la variabilidad climática en todos los municipios del Cauca, utilizando información primaria recopilada a través del enfoque de adaptación basado en comunidades. La vulnerabilidad se estimó a partir de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación; en la exposición se tiene como indicador el número de elementos expuestos a eventos hidroclimáticos, la sensibilidad se determinó a partir de la percepción del grado de afectación por parte de las comunidades locales y proporción de áreas afectadas en relación con el total del territorio, finalmente, la capacidad de adaptación se evaluó a partir de respuesta asumida por la comunidad para recuperarse del evento. Valencia et al. (2014) analizan la vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática en los acueductos de Popayán y Cajibío, Cauca, para calcular la vulnerabilidad de las Fuentes abastecedoras se incorporan indicadores, saberes locales sobre percepción, clima e identificación de problemáticas relacionadas, procedimientos matemáticos, ajuste del algoritmo y articulación con instrumentos de planificación territorial. Como resultado se encuentra que la vulnerabilidad es producto de la capacidad adaptativa generada por procesos desarrollados entre los actores locales debido a la desarticulación social, baja presencia institucional y nula inversión ambiental.

El Programa conjunto de integración de ecosistemas y adaptación al cambio climático en Colombia - PC (2011), evaluó la vulnerabilidad al cambio climático en la parte media y alta de la subcuenca Río Molino, municipio de Popayán; el análisis de vulnerabilidad a cambio climático se realizó mediante una metodología participativa, con el fin de fortalecer las capacidades locales de comunidades campesinas e instituciones, concluyendo con el diseño e implementación de medidas de adaptación con énfasis en conservación y gestión del riesgo. El

análisis de la vulnerabilidad se sustenta en el desarrollo de una metodología participativa, el cual permitió avanzar con las comunidades e instituciones en la construcción de esquemas de gestión compartida, reafirmando la capacidad de intervención de los actores participantes.

De lo anterior se puede concluir que los análisis de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática han sido de carácter multidimensional (social, biofísica, económica, cultural, política y de infraestructura); esto indica un acercamiento al análisis sistémico de las cuencas abastecedoras de agua; sin embargo, en el marco de la gestión integral del recurso hídrico es preciso construir herramientas orientadas a la disminución de la vulnerabilidad a través del fortalecimiento de las capacidades de adaptación del territorio. En este sentido, se requiere armonizar los enfoques actuales de análisis de la vulnerabilidad con la complejidad de las problemáticas ambientales que emergen ante la variabilidad climática y de esta manera obtener resultados que aporten a la adaptación y reducción del riesgo; es decir, para llegar a la disminución de la vulnerabilidad es necesaria la generación de un modelo para su gestión con enfoque adaptativo, que posibilite un encuentro entre el conocimiento generado por los diversos análisis de la vulnerabilidad y las capacidades locales.

2 METODOLOGÍA

2.1 Justificación del Enfoque Epistemológico

La presente investigación empleó un método mixto³ que implica un proceso de recolección, análisis e interpretación de datos cuantitativos y cualitativos, facilitando la integración y discusión de la información, a fin de lograr un mayor entendimiento de la situación a estudiar (Hernandez *et al.*, 2010); esto justifica el empleo de una metodología sistémica con enfoque constructivista (Arnold & Orozco, 2011), útil en la investigación ambiental e interdisciplinaria y en el acercamiento complementario a la problemática y los componentes de interés en los sistemas sociales y naturales.

En este contexto, el enfoque de SE, permite realizar un análisis integral de lo natural y social (Gallopín, 1991). Los sistemas naturales (sistema biofísico) están conformados por los ecosistemas (sistema ecológico) y los sistemas sociales están compuestos por organizaciones sociales, usuarios de los servicios de los ecosistemas y la infraestructura física y social (Berkes *et al.*, 2003; S. Vilardy, 2009). Los sistemas sociales y los ecosistemas están estrechamente vinculados y por tanto la delimitación exclusiva de un ecosistema o de un sistema social resulta arbitraria y artificial (Martín-López *et al.*, 2012).

El SE, se relaciona con el sistema social por medio de los servicios que ofrecen los ecosistemas y la dimensión humana se relaciona con el sistema natural a través de los procesos de gestión, que se pueden visualizar de diferentes formas como: los aspectos

³ Según Hernández Sampieri y colaboradores (2010), los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación que implican un ejercicio multimetódico para recolectar y analizar datos (cuantitativos y cualitativos) en una situación de interés, dicho enfoque se sustenta en la aproximación holística al sistema estudiado.

relacionados con la gobernanza; los procesos de aprendizaje tanto local como científico, el estado de conocimiento científico actual y la manera en la que se expresa el conocimiento local y científico en las prácticas de manejo que son aplicadas; la socialización y difusión de este relacionamiento se realiza a partir de las redes sociales existentes y se fundamenta en la confianza para la gestión del sistema (Berkes et al., 2003; Vilarly, 2009), por parte de las instituciones y las comunidades.

Los SE se pueden considerar sistemas adaptativos complejos (Gunderson et al., 2017) debido a que presentan atributos como la dependencia histórica, la no linealidad, la incertidumbre, múltiples escalas-jerárquicas y la auto organización (Berkes et al., 2003; Olsson, Folke, & Hahn, 2013). En ellos se integra la naturaleza, el aprovechamiento que se hace de ella, la sociedad y las instituciones como un todo, que interactúa de manera dinámica en tiempo y espacio en diferentes escalas (G. Gallopín, 2006; Lebel, Anderies, Campbell, & Folke, 2006; S. Vilarly, 2009), representando lo que se denomina como sistemas adaptativos y auto-organizativos (Martín-López et al., 2012). Las relaciones entre naturaleza y sociedad implican analizar cómo el ser humano afecta la integridad de los ecosistemas, y cómo éstos repercuten en su bienestar.

Los SE se caracterizan por tres atributos que determinan su evolución: la resiliencia, la capacidad de adaptación y la transformabilidad (Folke et al., 2010; Olsson et al., 2013; Walker & Salt, 2012). Aquí la resiliencia y la capacidad de adaptación se relacionan con la dinámica de un sistema, o sistemas estrechamente relacionados.

Los SE se pueden abordar bajo tres perspectivas (Becker, 2012; Olsson et al., 2006): i. Como objetos de frontera, intersecciones de campos individuales de la investigación y la configuración disciplinarias; ii Como objetos epistémicos, como “cosas” que los humanos

pueden y quieren saber acerca del uso de métodos bien definidos de investigación y razonamiento teórico y iii Como objetos reales representados en los modelos de sistemas construidos para hacer frente a los problemas y fenómenos en diversos campos de aplicación.

Debido a que no existe un solo enfoque dentro del marco de los SE ni menos un planteamiento exclusivo, es necesario construir marcos de referencia teóricos, que brinden un concepto y una definición general de los socioecosistemas desde la perspectiva de la complejidad (Berkes et al., 2003); teniendo en cuenta las dinámicas de los sistemas complejos, la emergencia y su consiguiente aplicación para los análisis de la vulnerabilidad, la teoría de la resiliencia, la capacidad adaptativa y la transformabilidad; de igual manera, se exponen algunos enfoques especiales para abordar los SE y otros alternativos (L. Bertalanffy, 1976).

Abordar las problemáticas ambientales desde la perspectiva de los SE (Folke, 2006; Holling, 1973, 2001; Martínez Alier, 2008; Peterson, 2000; S. Vilarly, 2009), requiere que se consideren en términos de su estructura y dinámica. Dado que el abordaje tradicional sobre lo comprensión científica, y sobre todo la comprensión ecológica se han enfocado sobre análisis biofísicos, reconociendo que este abordaje es importante para hacer frente a los problemas ambientales; también hay que aceptar que el conocimiento científico difícilmente será suficiente (L. Bertalanffy, 1976). Lo anterior conduce a que los procesos de influencia humana sobre los componentes del sistema (la flora, la fauna, el suelo y el agua), se solucionen con la comprensión de los procesos biofísicos sobre los que se toman decisiones, esto para hacer de las herramientas de planificación objetivas; sin embargo, esta visión tiene un alto grado de incertidumbre.

Se propuso este enfoque de SE porque propicia la realización del estudio de forma pragmática⁴, sustentado en el desarrollo de cinco premisas⁵ de interés para la investigación en ciencias ambientales, según la propuesta metodológica que refieren Hernández et al (2010).

De esta manera, desde el ámbito social se considera el análisis de actuaciones e ideas, las primeras relacionadas con las dinámicas comunitarias, políticas y económicas, mientras las segundas engloban los principios, saberes, ideología y cultura, dos partes esenciales que integran los sistemas socioecológicos y se entremezclan con los procesos ecológicos que integran los diferentes entornos naturales.

El uso del método mixto, justifica el empleo de una metodología sistémica con enfoque constructivista (Arnold-Cathalifaud, 2013), a través de la cual el estudio se orienta hacia la caracterización de los subsistemas manteniendo una relación sinérgica con el todo, observando procesos dinámicos en redes de retroalimentación, mediadas por el trabajo participativo, que permite ajustar el desarrollo de la investigación. Así, la participación de los actores es transversal en todas las fases metodológicas, generando la apropiación social desde el desarrollo mismo de la investigación. En este contexto, se considera que la relación de cada parte de un ecosistema se comporta no solo como un elemento independiente sino como

⁴ Según Greene (2007), el pragmatismo convoca diferentes “modelos mentales” en un proceso conjunto y respetuoso de indagación e interlocución, donde los enfoques se retroalimentan para alcanzar colectivamente una mejor comprensión del fenómeno estudiado.

⁵ *Complementación*, para obtener un mayor entendimiento e ilustración de los resultados al emplear un método CUAN/CUAL. *Amplitud*, es factible examinar los procesos de forma holística e integral. *Multiplicidad*, se responde a un conjunto de preguntas que orientan la investigación, derivadas estas de una pregunta central. *Diversidad*, para obtener diferentes puntos de vista del planteamiento estudiado, permite la concurrencia de distintas ópticas para abordar el problema e *Integración*, permite consolidar los razonamientos procedentes de la información obtenida al emplear el enfoque mixto.

eslabón de un tejido inseparable, en el cual la generación de cambios en una de sus partes provoca cambios en todas las demás y en la estructura básica del sistema.

La presente investigación permite un abordaje desde una perspectiva sistémica (Morin, 1998; Lucia Solis, n.d.) y compleja de las relaciones del servicio ecosistémico de abastecimiento de agua con su entorno, resaltando los beneficios que de manera directa o indirecta pueda llegar a tener en los diferentes componentes del bienestar humano, entendiendo que será útil en la medida en que aportará nuevos argumentos para la mejora de la gestión integral de los socioecosistemas (Martin et al., 2006) mediante la vinculación de los actores del territorio a la investigación y la transferencia de conocimientos y saberes. Proceso que se llevó a cabo gracias a la gestión institucional y a la interacción con los colectivos sociales, a los cuales se presentó el panorama general que enfrenta el recurso hídrico y la posibilidad de aportar positivamente no solo al cuidado del ecosistema sino de su propia subsistencia en el entorno.

Las diferentes investigaciones que se han desarrollado relacionadas con la vulnerabilidad por desabastecimiento de agua, han sido abordadas desde enfoques unidisciplinarios, con tendencias por áreas del conocimiento tales como la ingeniería, economía y las ciencias sociales, lo que ha generado resultados desarticulados, situación que reduce el impacto positivo de la gestión basada en estos estudios.

Abordar la vulnerabilidad por desabastecimiento de agua empleando un enfoque sistémico a partir de los planteamientos de Bertalanffy (Arnold & Osorio, 1998; Ludwig von Bertalanffy, 1986) basado en el pensamiento complejo permite estudiar e integrar diferentes elementos del sistema considerando sus capacidades de transformación, adaptabilidad y resiliencia. Con este acercamiento se hace un aporte a las herramientas que proporcionen

secuencia lógica y conocimiento en contexto para la toma de decisiones (Morin, 1998; Lucia Solis, n.d.). La forma para abordar lo planteado se hizo mediante la aplicación del Modo 2 de hacer ciencia (Gibbons et al., 1994), caracterizado por un enfoque transdisciplinar, en procura de un conocimiento útil y negociado entre los actores académicos y sociales; es una manera de acercar la academia y la sociedad, al trabajo investigativo.

Se estructura así un proceso en el cual la participación institucional permite operativizar alianzas a través de las cuales se generan acciones que aportan a la identificación de problemáticas, al igual que al diseño, gestión y estructuración de planes que aportan a la sostenibilidad del recurso hídrico, pero además al continuo análisis frente a los cambios, capacidad de adaptación y resiliencia del mismo.

De esta forma, la investigación aplicada aporta elementos importantes para la gestión de una microcuenca abastecedora como socioecosistema, bajo una visión que considera diversas disciplinas y saberes (criterios no académicos) de los actores clave; dando paso a nuevos conocimientos en el campo de las Ciencias ambientales bajo una propuesta conceptual que integra la gestión adaptativa a los socioecosistemas, en el contexto de la gestión del riesgo, siendo esta una alternativa de base para la conformación de redes sociales, la toma de decisiones y la planificación del territorio.

2.2 Descripción del Caso de Estudio

Para la presente investigación se tiene como caso de estudio la microcuenca río Molino que se encuentra ubicada entre los municipios de Timbío y Sotaró en el departamento del Cauca (Figura 2). El río Molino nace en el lugar conocido como cerro Sombreros en Sotaró y pasa por las Veredas El Libano, El Molino y Hato Frío del mismo municipio; abastece al

acueducto rural Aires del Campo, que distribuye agua cruda a 435 usuarios domiciliarios de las Veredas: Camposano, Buenos Aires y La Banda en Timbío.

El sistema rural de abastecimiento de agua cruda, para esta investigación, se plantea desde el concepto de socioecosistema donde existe relación directa entre tres componentes: Fuente - microcuenca río Molino (Sotará), Prestador - acueducto rural Aires del Campo (Timbío) y usuario - beneficiarios del acueducto rural (Timbío), captación (bocatoma) del sistema rural de abastecimiento se encuentra en la vereda Hato Frío en Sotará.

Teniendo en cuenta el área de influencia de la microcuenca río Molino, se describen las generalidades de los municipios de Timbío y Sotará y posterior a ello se presenta la caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca como unidad de análisis para la presente investigación.

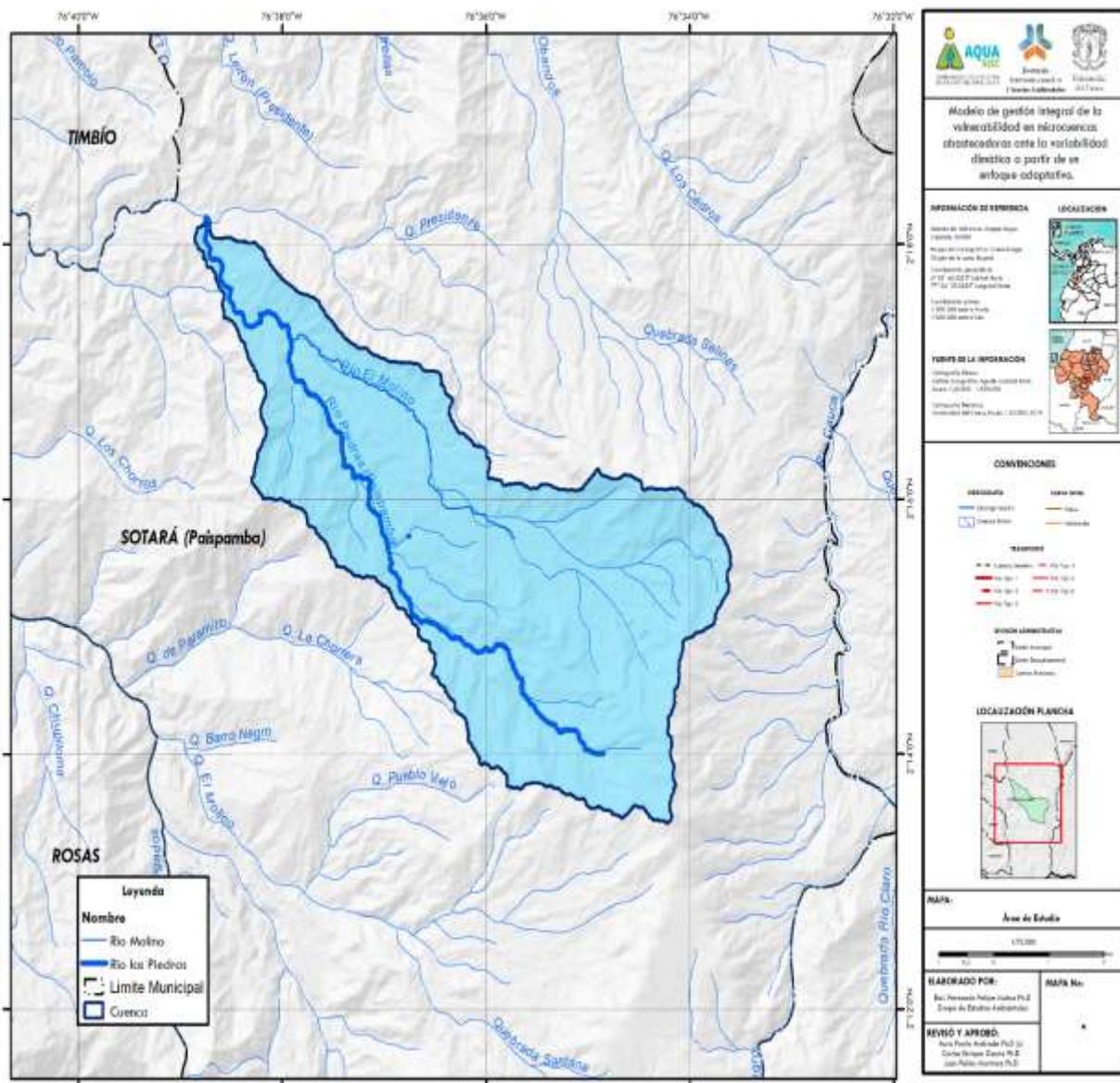


Figura 2. Ubicación de la microcuenca río Molino

En lo que referente al Municipio de Timbío⁶, se tiene que este se encuentra en la parte suroccidental de Colombia, en la zona centro del Departamento del Cauca, sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central, hace parte del Macizo Colombiano conocido como meseta de Popayán o valle interandino de Pubenza, formado en medio de las cordilleras central y occidental; limita con Popayán al norte, con los municipios de Rosas y Sotaró al sur y al occidente con el municipio de El Tambo. Timbío se caracteriza por presentar una red hidrológica que tributa a dos grandes cuencas hidrográficas de Colombia: el río Cauca y el río Patía. La cabecera municipal del Timbío se localiza a 29°.20 de latitud norte y a 29°.35' longitud oeste, tiene una extensión total de 205 km² de la cual 1.3 km² es área urbana y 203.7 km²; tiene una altitud media de 1.850 msnm y su temperatura oscila entre los 16 y 23 °C.

La mayor parte del territorio del municipio es de superficie ondulada, su parte más alta sobre el nivel del mar está al oriente, en límites con el Municipio de Sotaró y la zona más baja sobre el nivel del mar comprende la vereda Pan de Azúcar al occidente en límites con el municipio del Tambo (PBOT de Timbío, 2006). Timbío se encuentra distribuido en nueve distritos los cuales agrupan veredas en el sector rural y 18 barrios en el sector urbano. El acceso al municipio es por vía carretable, en vehículo particular se llega a la ciudad de Popayán y se toma la carretera Panamericana hacia al sur, vía a Pasto y en vehículo de

⁶ El vocablo Timbío está formado por el monosílabo Tim de origen Quechua, que significa unión o relación y por el bisílabo Bio de origen Pubenés, que significa río o fuente, por lo tanto, Timbío: unión de dos ríos (Chambio y Timbío). Timbío fue fundado el 1 de noviembre de 1535 siendo es el tercer municipio más antiguo de Colombia y el quinto en Suramérica fundado por españoles (Colombia Turismoweb, 2019).

servicio público se llega a la terminal de transportes de Popayán, donde se brinda transporte al municipio cada 10 minutos.

La población total del municipio de Timbío es de 35.564 habitantes con una densidad poblacional de 197,58 hab/km². El 65% de la población habita en el sector rural y el 35% en el sector urbano (Alcaldía Municipal de Timbio, 2016). En la zona rural del municipio de Timbío el servicio de acueducto es prestado por las juntas de acción comunal o juntas administradoras de acueducto con una cobertura del 31.4 %, no se prestan los servicios de aseo y alcantarillado. En el sector rural solo el acueducto de Sachacoco distribuye agua para consumo humano a sus usuarios, sin embargo, se encuentra en construcción la planta de tratamiento de agua para consumo humano (PTAP) del acueducto El Saladito; por otra parte el proyecto de la PTAP del acueducto Aires del Campo se encuentra en el proceso de aprobación de recursos de inversión (Alcaldía Municipal de Timbio, 2016).

Por su parte el municipio de Sotará⁷ se encuentra a 41 km de Popayán en el Departamento del Cauca, su cabecera está localizada a los 2°19' de latitud norte y 76°34' de longitud oeste. Sotará tiene una extensión de 517,766 Km² y una altura promedio sobre el nivel del mar de 1.800 metros. La mayor parte del territorio es montañoso y su relieve corresponde a la cordillera central, Cuenca del río Patía. En las diferentes regiones del Municipio el cual está

⁷ El municipio Fue fundado el 12 de marzo de 1936 por ordenanza del Congreso de la República de Colombia. Su nombre fue tomado del Sotará; se considera de gran importancia el establecimiento de Paispamba como cabecera municipal y eje social y económico de la región, las fuerzas políticas del municipio reclamaron ante el Estado su autonomía jurisdiccional ya que implicó un espacio territorial, económico y étnico a diferencia del Resguardo de Rioblanco, en donde la tierra es comunal y la población es de origen indígena (PBOT, 2015).

dividido en 10 Corregimientos, se presentan notables diferencias climáticas con referencia a factores de temperatura, precipitación, humedad relativa y vientos.

El municipio tiene siete puntos de acceso directo desde la vía Panamericana, estas vías son carretables destapadas y su estado depende en gran medida de los factores climáticos, como la lluvia, lo cual las deteriora considerablemente. Es también importante señalar que la empresa, Cartón de Colombia, la cual explota maderas de los bosques plantados en predios de su propiedad, realiza el mantenimiento de muchas de éstas vías, que son utilizadas no solo para sacar la madera hacia la planta industrial de Yumbo-Valle del Cauca, sino que también son utilizadas por las comunidades vecinas.

La población de Sotará campesina e Indígena (Yanaconas - Resguardo de Río Blanco y Paeces – Resguardo de la Paz); para 2019 la población, según información de Planeación Departamental, se distribuye en Cabecera municipal 650 habitantes y en zona rural 16.033 habitantes (Gobernación del Cauca, 2019)

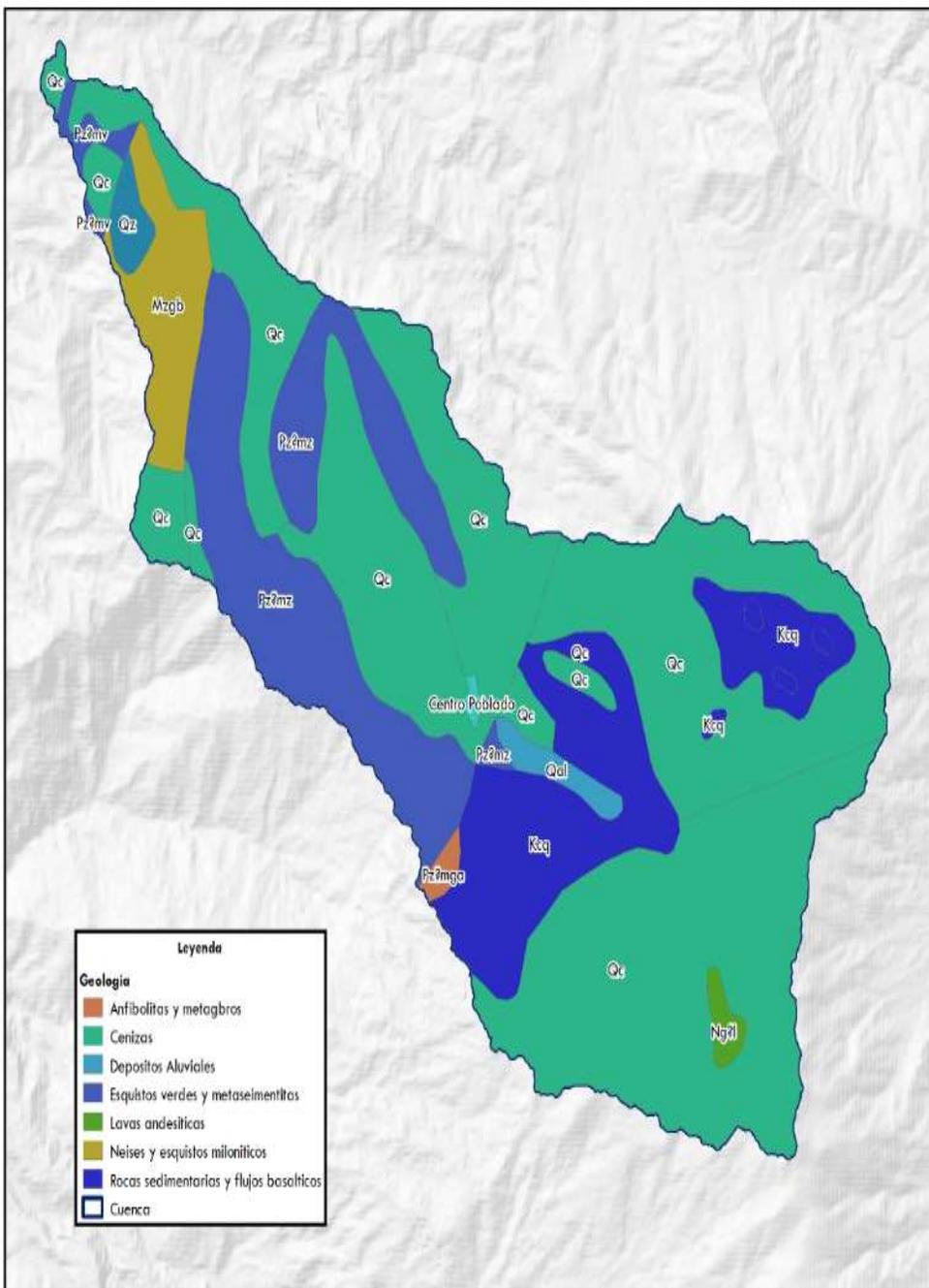
En cuanto a saneamiento básico, la cobertura del servicio de acueducto es de 34 % en el municipio alcanzando a abastecer a 135 viviendas de la zona urbana y 2.850 viviendas en zona rural. Existe planta de potabilización de agua PATP en Río Blanco y Paispamba. La cobertura de recolección de residuos sólidos es del 3% en la cabecera además se cuenta con una cobertura de alcantarillado en la zona rural.

A continuación, se hace la descripción de las principales características biofísicas y socioeconómicas de la microcuenca río Molino.

2.2.1 Caracterización Biofísica

2.2.1.1 Suelo: Geología, Pendientes y Erosión

El suelo es de origen volcánico, presenta flujos basálticos compuestos por cenizas, rocas metamórficas de bajo grado, rocas ígneas básicas, rocas ígneas volcánicas de composición intermedia; su estructura mineral comprende silicatos y sodio en mayor cantidad; se registran depósitos aluviales compuestos por arena y grava (Figura 3). Geología de la microcuenca río Molino). En el terreno se registran pendientes topográficas entre 25 y 50 grados en la mayor parte de la superficie con respecto a la horizontal, en menor medida pendientes entre 50 y 75 grados, hacia la parte media y baja de la micro cuenca se tienen pendientes de moderadas a suaves (Figura 4).



Leyenda	
Geología	
	Amfibolitas y metagabros
	Cenizas
	Depositos Aluviales
	Esquistos verdes y metaseimilitas
	Lavas andesíticas
	Neises y esquistos miloníticos
	Rocas sedimentarias y flujos basálticos
	Cuenca



Modelo de gestión integral de la vulnerabilidad en microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática a partir de un enfoque adaptativo.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Distrito de referencia: Agua Dulce (Distrito: 0900)

Población: 10,000 habitantes (Censo 2010)

Coordenadas geográficas: 0° 21' 46.21" Sur, 78° 14' 21.02" Oeste

Altitud: 1,800 m.s.n.m.

LOCALIZACIÓN



FUENTE DE LA INFORMACIÓN

Cartografía: INEGI

Cartografía: Universidad de Cuenca, 2018

LOCALIZACIÓN



CONVENCIONES

	Carretera		Rio
	Carretera		Rio

TIPOLOGÍA

	Centro Poblado		Urb. Tipo 1
	Urb. Tipo 2		Urb. Tipo 3
	Urb. Tipo 4		Urb. Tipo 5

USO DEL SUELO

	Urb. Tipo 1		Urb. Tipo 2
	Urb. Tipo 3		Urb. Tipo 4
	Urb. Tipo 5		Urb. Tipo 6

MAPA: Geología Microcuenca Río Molino

1:50,000



ELABORADO POR: Fernando J. Alvarado Muñoz (PI) Investigador AGU/RBIO

REVISÓ Y APROBÓ: Juan Pablo Martínez (PI) Coordinador AGU/RBIO

Figura 3. Geología de la microcuenca río Molino

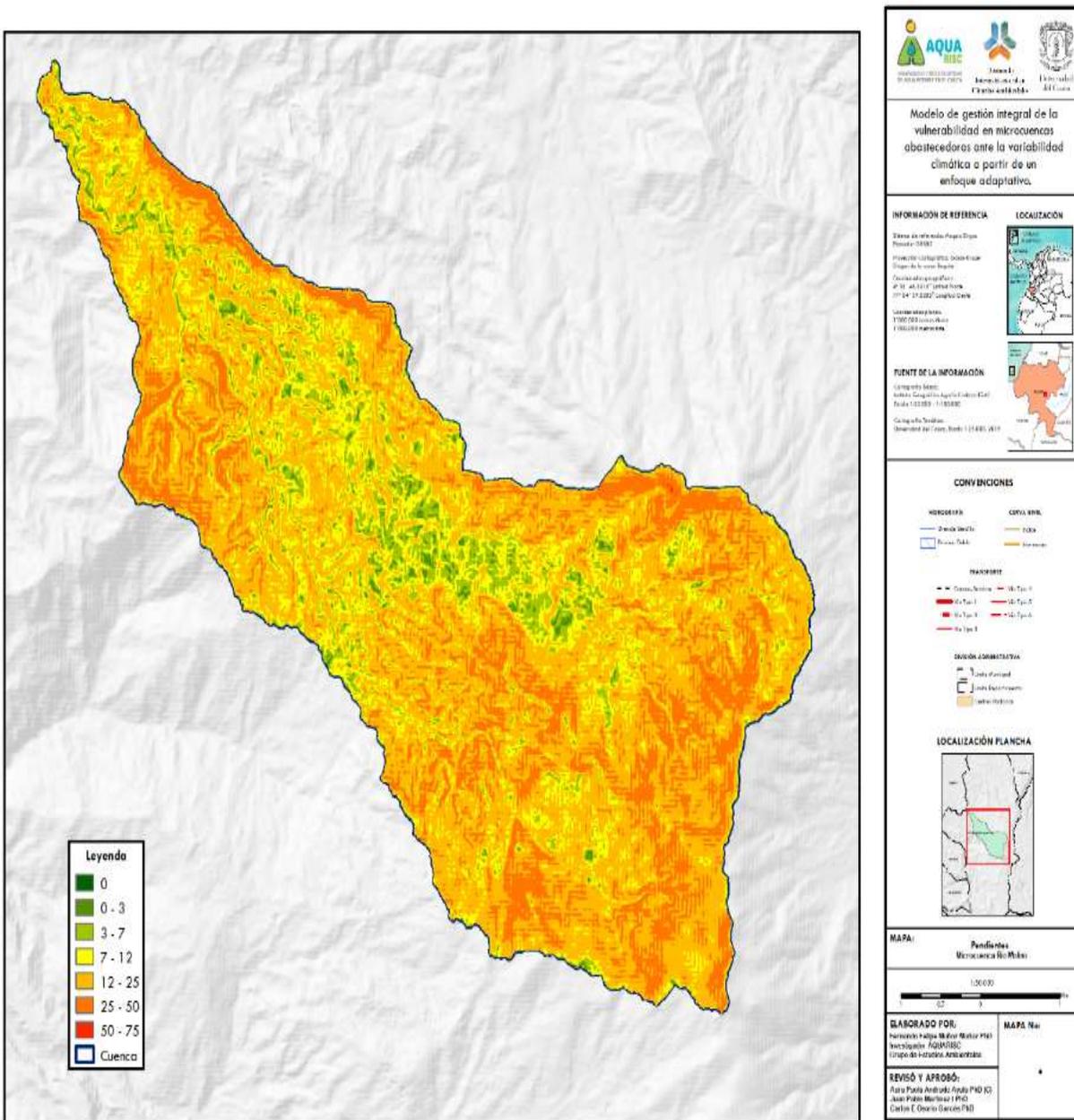
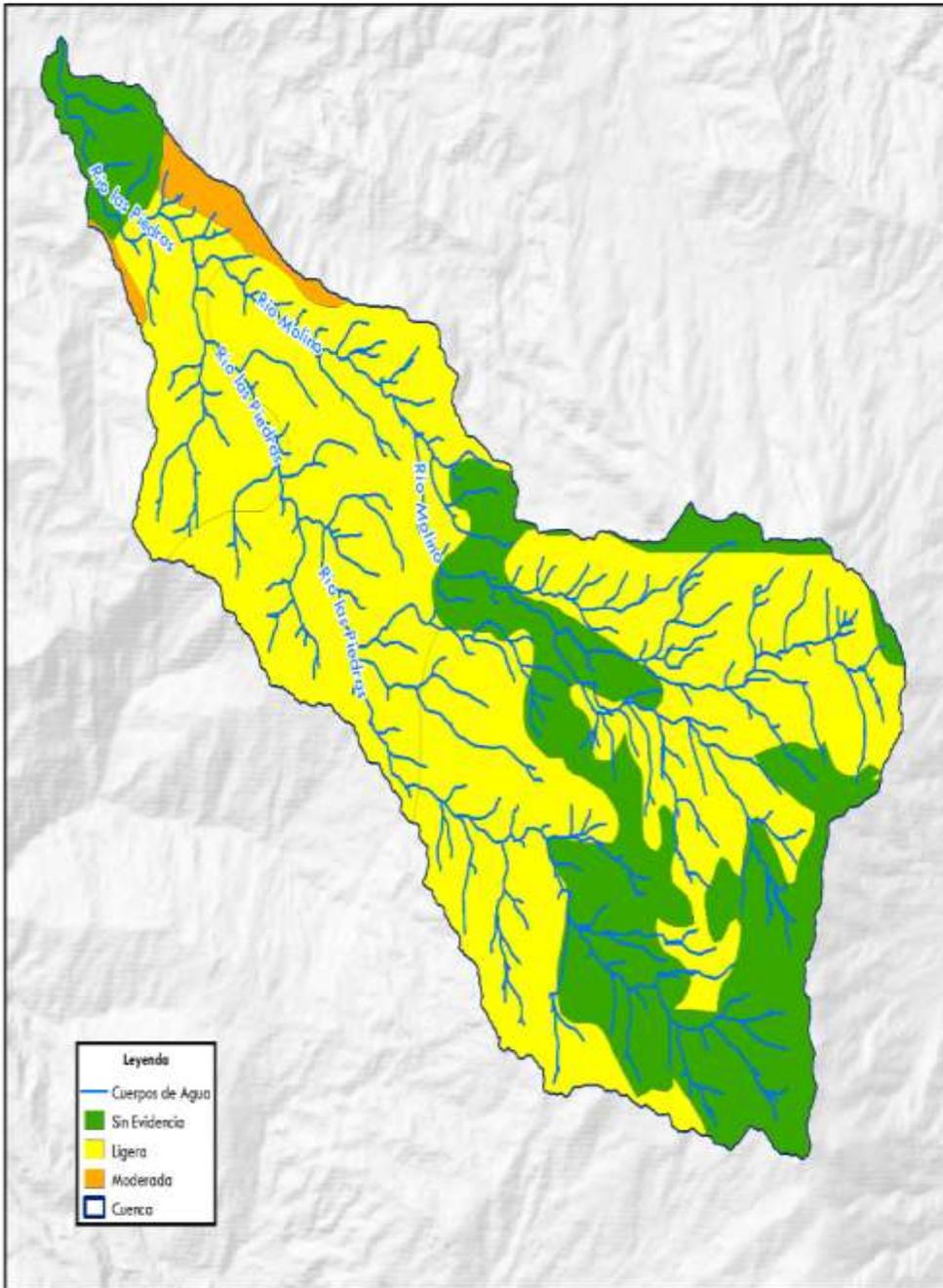


Figura 4. Pendientes en la microcuenca río Molino

La erosión en la microcuenca se registra entre ligera a moderada; en la parte alta y media de la microcuenca el suelo muestra erosión con pérdidas entre 25% y 75% de la capa superficial; es de resaltar que en gran parte de la microcuenca se registran cultivos de fresa lo que conlleva a prácticas agrícolas (arado) que estarían afectado el subsuelo (Figura 5. Grados de erosión de la microcuenca río Molino). Sin embargo, los procesos de degradación del suelo a lo largo de la microcuenca están dados mayormente por erosión de tipo hídrica. Siendo un terreno con altas pendientes, la escorrentía superficial difusa genera en algunas áreas la pérdida de suelo (erosión laminar) y en otras, el suelo es arrastrado por el flujo de agua generando surcos. En algunas zonas la pérdida de suelo es debida a la intervención antrópica por la construcción de terrazas de cultivo (Figura 6).



AQUA **INIA** **INIA**

Elaborado por el Centro de Estudios de Agua y Ambiente

Modelo de gestión integral de la vulnerabilidad en microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática a partir de un enfoque adaptativo.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Escala de referencia: 1:50,000
 Proyección: UTM
 Datum: WGS 84
 Zona: 18 S
 Datum: WGS 84
 Datum: WGS 84
 Datum: WGS 84

LOCALIZACIÓN

FUENTE DE LA INFORMACIÓN

Geografía: INIA
 Geografía: INIA
 Geografía: INIA
 Geografía: INIA

CONVENCIONES

ABASTECIMIENTO

USOS DEL SUELO

LOCALIZACIÓN PLANCHA

MAPA: Grado de Erosión Microcuenca Río Molino

ELABORADO POR: Dra. Tatiana Tobo Medina Ph.D. Centro de Estudios de Agua y Ambiente

REVISÓ Y APROBÓ: Araceli Acosta Ph.D. Centro de Estudios de Agua y Ambiente

Figura 5. Grados de erosión de la microcuenca río Molino

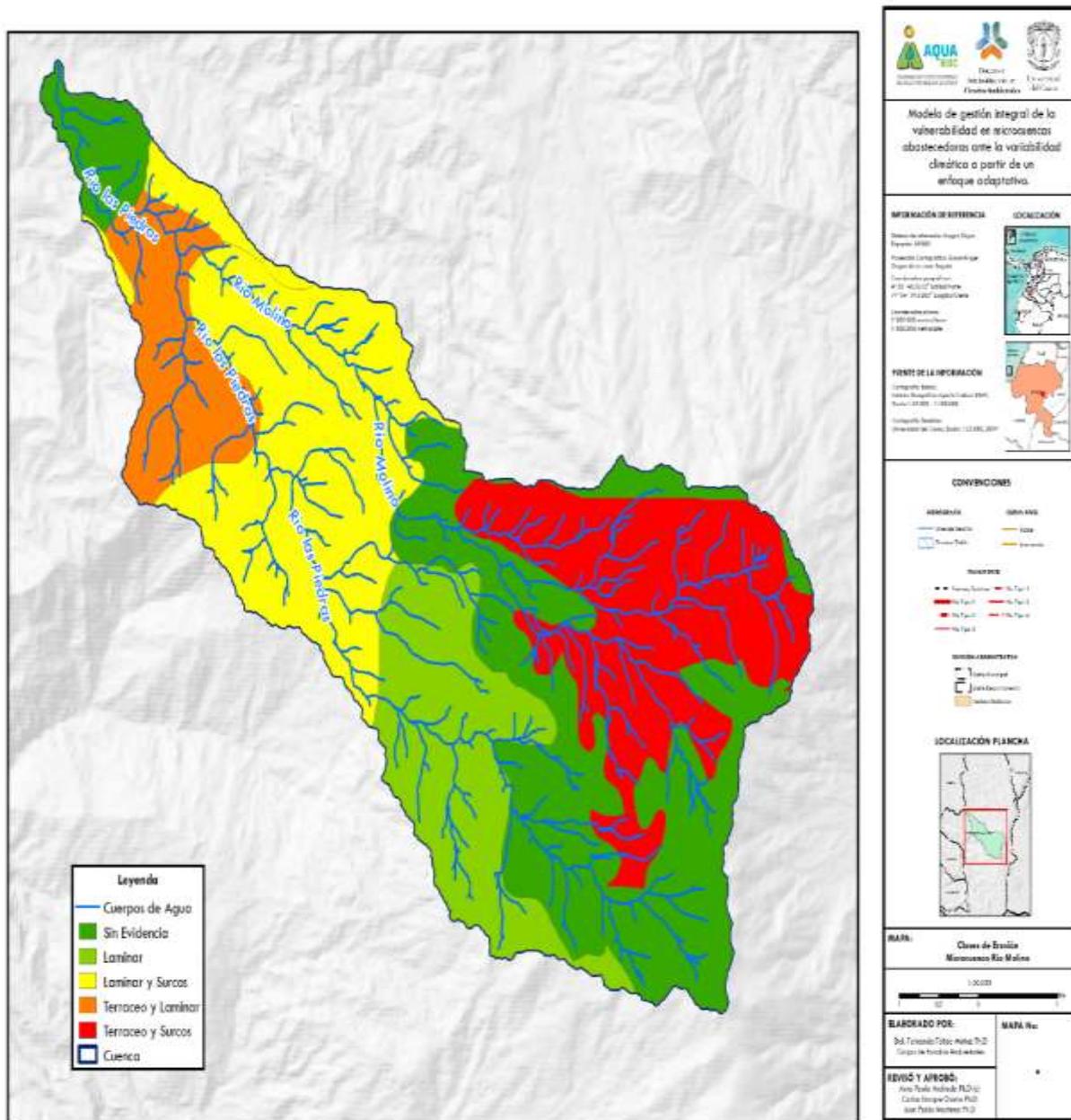
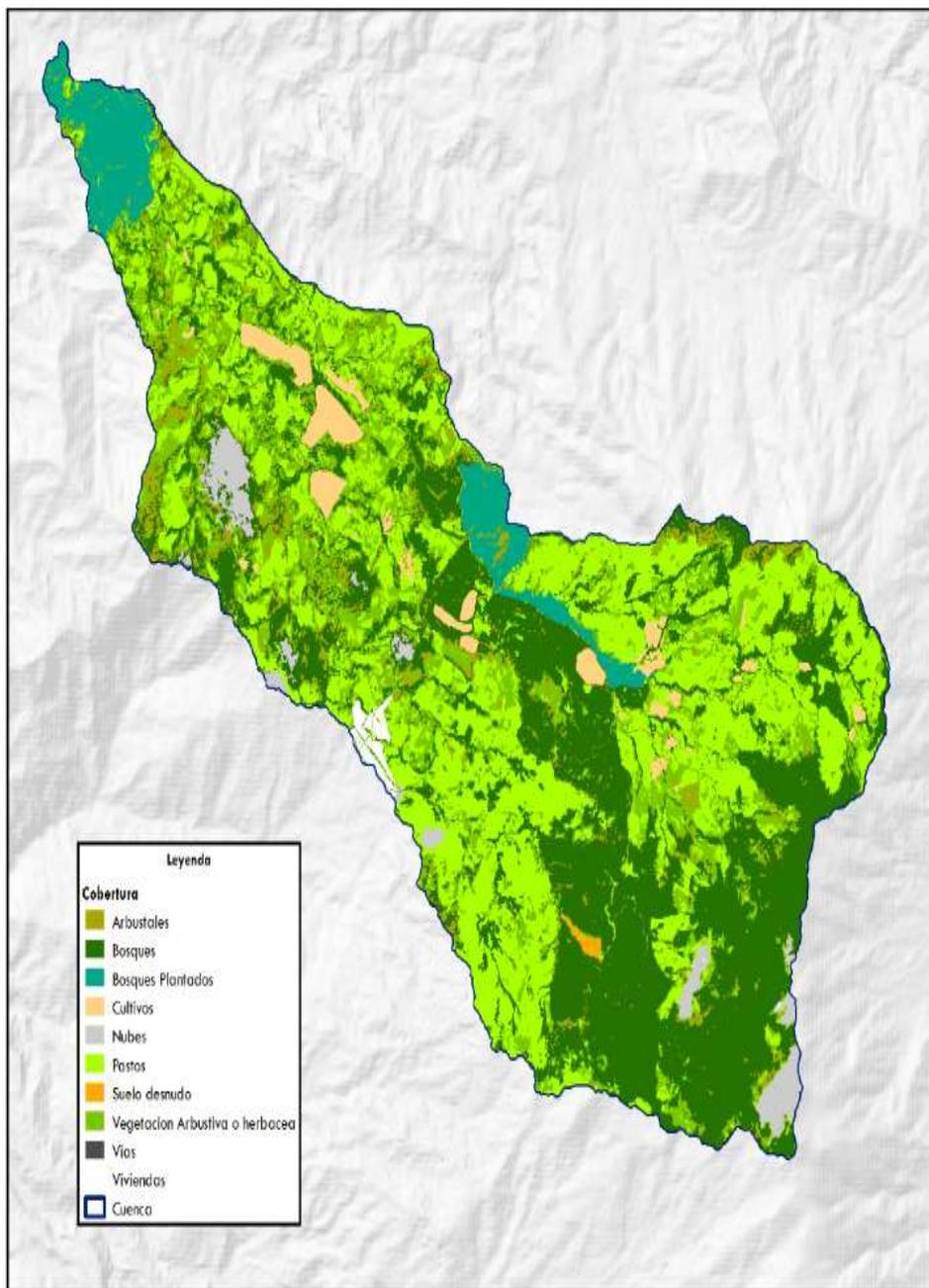


Figura 6. Clases de erosión en la microcuenca río Molino

2.2.1.2 Coberturas Vegetales y Usos de Suelo

En la microcuenca río Molino la cobertura vegetal sobresaliente son arbustales y suelo desnudo en mantenimiento y/o preparación para producción agrícola (Figura 7) ; se tiene baja presencia de bosque natural ya que ha sido sustituido por pastos para la tenencia de ganado lechero y la siembra de café y algunos frutales, principalmente cultivos de fresa; hay presencia de pino y eucalipto, bosques plantados por la empresa Smurfit Kappa Cartón de Colombia (CRC, 2015).

El uso de suelo predominante es agrícola y pecuario, lo que ha venido en aumento generando presión sobre los bosques relictuales, inestabilidad de los suelos y contaminación en suelo y agua, tanto subterránea como superficial, además, los eventos climáticos extremos presentes en la zona han favorecido la ocurrencia de deslizamientos e incendios forestales (Manzano, 2019).



AQUA **INSC** **INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS** **Universidad del Cauca**

Modelo de gestión integral de la vulnerabilidad en microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática a partir de un enfoque adaptativo.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Proyecto de Investigación: Plan de Manejo 2018
 Proyecto Científico: Cuenca Engorzo de Agua de San Roque
 Coordenadas UTM: 18Q UTM
 Coordenadas Geográficas: 4° 21' 46.22" Sur, 76° 12' 39.22" Oeste
 Coordenadas: 1838 300, 1838 300, 1838 300

LOCALIZACIÓN

PUNTO DE LA INFORMACIÓN

Cooperativa: Muzo
 Localidad: Engorzo de Agua, Cauca, ECU
 Teléfono: 312 500 1111
 Correo Electrónico: info@cooperativamuzo.com

CONVENCIONES

HIPOGRAFÍA

- Contorno de Nivel
- Contorno de Nivel

USOS DEL SUELO

- Uso Agrícola
- Uso Urbano
- Uso Industrial

RECURSOS

- Río Muzo
- Río Muzo
- Río Muzo
- Río Muzo

OTROS ELEMENTOS

- Carretera
- Carretera
- Carretera

LOCALIZACIÓN PLANETA

MAPA: Coberturas Vegetales y Usos del Suelo Microcuenca Río Muzo

ELABORADO POR: Inés María Muñoz Muñoz, Investigadora AQUA/INSC, Grupo de Estudios Ambientales

REVISÓ Y APROBÓ: Juan Pablo Andrade Ayala PhD (C), Juan Pablo Martínez PhD, Carlos E. Osorio García PhD

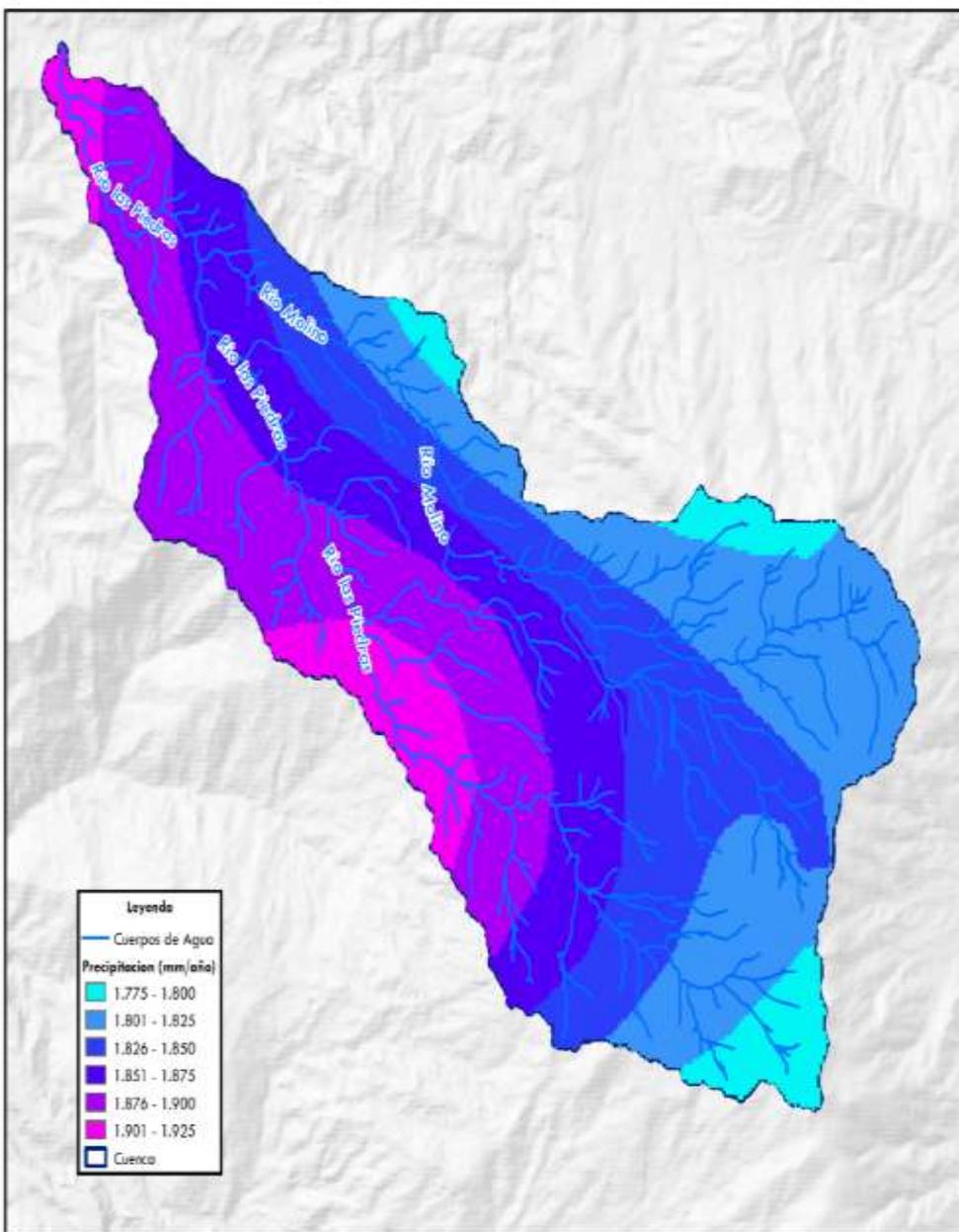
MAPA No:

Figura 7. Coberturas vegetales y usos del suelo

En la parte alta de la microcuenca (municipio de Sotar) se encuentran gran número de cultivos de fresa con tendencia al aumento (Figura 8). En el año 2019 fueron aprobados por el departamento del Cauca recursos de inversión para el fortalecimiento de la Cooperativa de productores de fresa de Sotar – Fresota a través de la construcción de la planta industrial en la cabecera municipal de Paispamba para procesos de acopio, adecuación, transformación y logística de la fresa: despitonado, pulpas, rellenos, zumos, entre otros valores agregados (Alcaldía Municipal de Timbio, 2016).

2.2.1.3 Climatología

La microcuenca río Molino cuenta con una precipitación anual de 2350 milímetros (mm) (Figura 9), temperatura media de 18 grados Celsius (°C) (Figura 10); el régimen de lluvias es bimodal con un pico de precipitaciones entre octubre y diciembre y un déficit de lluvias entre junio y septiembre. Cuenta con un clima templado húmedo a una altura de 1850 metros sobre el nivel del mar (msnm); humedad relativa del 71 al 90 %, brillo solar entre 97.1 a 171.2 horas, la zona presenta una evaporación de 76.1 a 111.6 milímetros por año (mm/año) (Manzano, 2019).



Modelo de gestión integral de la vulnerabilidad en microcuencas abastecedoras ante la variabilidad climática a partir de un enfoque adaptativo.

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Ámbito de actuación: Aragón, España
 Proyecto: Cuenca del Río Molino
 Responsable: Carlos López
 Fecha: 10/10/2017

COORDINADAS
 UTM: 30Q UTM
 X: 1000000 Y: 4500000

LOCALIZACIÓN

FUENTES DE LA INFORMACIÓN

Cartografía: IGN
 Datos: IGN, IGN, IGN, IGN
 Fecha: 1/1/2017 - 1/1/2017

CONVENCIONES

LEGENDA	ESTRUCTURA
— Cuenca de Agua	— Límite
— Límite de Cuenca	— Límite
— Límite de Cuenca	— Límite

PROYECTO

— Límite de Cuenca	— Límite de Cuenca
— Límite de Cuenca	— Límite de Cuenca
— Límite de Cuenca	— Límite de Cuenca

LEGENDA SIMBOLICA

— Límite de Cuenca	— Límite de Cuenca
— Límite de Cuenca	— Límite de Cuenca
— Límite de Cuenca	— Límite de Cuenca

LOCALIZACIÓN PLANCHA

MAPA: Precipitación Acumulada (mm/año) Microcuenca Río Molino

1:50000

<p>ELABORADO POR: Borja Comandó Tello, Pedro R. D. Grupo de Estudios Ambientales</p>	<p>MAPA No: 1</p>
<p>REVISÓ Y APROBÓ: Ana María Rodríguez (R.D.) Carlos López (Coordinador) Ana María Rodríguez (R.D.)</p>	

Figura 9. Precipitación acumulada (mm/año) microcuenca río Molino

2.2.1.4 Calidad del Agua

El caudal medio del río Molino corresponde a 98 litros por segundo (lps) para el año 2019 (Ruiz, 2019) y el índice fisicoquímico de calidad del agua NSF es 67,13; los índices de contaminación ICOMO e ICOSUS denotan 0,22 y 0,07 respectivamente evidenciando un grado de contaminación de bajo a nulo como se presenta en el Anexo H (Ruiz, 2019). En general las variaciones de los parámetros fisicoquímicos medidos en la Fuente se encuentran en los rangos permisibles por la normatividad colombiana (Decreto 1594 de 1984), sin embargo, en la parte alta de la microcuenca existen actividades con impactos negativos sobre la calidad del suelo y del agua, como el uso de agroquímicos en los cultivos de fresa y la tenencia no tecnificada; además del manejo inadecuado de residuos líquidos provenientes de las viviendas ubicadas en la zona.

2.2.2 Caracterización Socioeconómica

De acuerdo con el último diagnóstico realizado por el Prestador de servicio del acueducto rural Aires del Campo se sabe que el 37,2% de los usuarios son de la vereda Buenos Aires, el 48,8% de la vereda Camposano y el 14% de la vereda La Banda, la población se encuentra entre los 20 y 80 años de edad. En esta zona rural no se cuenta con estratificación social (Manzano, 2019).

Según resultado de encuesta aplicada a 44 usuarios, se sabe respecto al nivel educativo que el 51,2% tienen básica primaria, el 37,2% básica secundaria y el 9,3% educación media; se encuentra que la mayoría de la población adulta no culminó los estudios de básica primaria pero no se registra analfabetismo; los niños y jóvenes pueden acceder a la escuela primaria que los recibe y les da el acceso a los estudios de bachillerato en la cabecera municipal de Timbío.

El 93% de la población tiene ingresos menores de 265.000 pesos y solo el 7% tiene ingresos mensuales entre 265.000 y 370.000 pesos⁸.

2.2.2.1 Vivienda y Saneamiento Básico

Las viviendas ubicadas en el área de estudio están construidas en ladrillo y cemento y cubiertas con teja de fibrocemento, en su mayoría las casas son de un piso, sin embargo, se encuentran casas de dos plantas con hasta tres habitaciones.

De acuerdo con el diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua realizado por la gerente del Acueducto rural Aires del Campo (2019), los habitantes que están cerca del nacimiento del río Molino no cuentan con saneamiento básico así que disponen sus residuos (sólidos y líquidos) en el río Molino y/o quebradas que son tributarios del mismo; por su parte los usuarios del acueducto Aires del Campo, aunque no cuentan con red de alcantarillado, si tienen baterías sanitarias y pozo séptico en cada vivienda. Toda la comunidad cuenta con energía eléctrica.

El Prestador del servicio de agua es el Acueducto Rural Aires del Campo con NIT. 817004320-4 que abastece a las veredas Camposano, Buenos Aires y La Banda en Timbío; suministra agua cruda desde hace 50 años para uso doméstico, agrícola y pecuario; actualmente tiene tarifa única de 6.400 pesos por usuario. La sede administrativa del acueducto está ubicada en la vereda Camposano a 16 km de la cabecera municipal de Timbío, de los

⁸ Resultado parcial del instrumento adaptado para levantamiento de información en el subsistema usuarios, esto con el fin de dar claridad al contexto de la investigación ya que se encontró información secundaria detallada relacionada con la caracterización social para el caso de estudio.

cuales 12 km corresponden a la vía panamericana y 4 km son vía destapada (Acueducto Aires del Campo, 2019).

De acuerdo con el diagnóstico de infraestructura⁹, el sistema cuenta con una bocatoma sumergida sobre el río Molino a la altura de la vereda Hato Frío (Sotará) ubicada a una altura de 2.280 msnm; un desarenador ubicado a 60 m de la captación; la tubería de conducción es de 6" a 4" hasta el tanque de almacenamiento ubicado en la vereda Alto Boqueron (Timbío) a 9.7 km, tramo en el que se encuentran 3 cámaras de quiebre, 17 ventosas, 3 válvulas de lavado y 9 viaductos; la red de distribución tiene una línea principal de 15 km de longitud desde el tanque de almacenamiento hasta la última acometida y tres ramales de abastecimiento. El agua proveniente del acueducto es de uso múltiple: uso doméstico (lavado y cocción de alimentos, uso y lavado de baños, lavado de pisos), uso agrícola (riego de cultivos y lavado de café) y uso pecuario (actividades de mantenimiento de especies menores) (Manzano, 2019).

2.2.2.2 Aspectos económicos

Dentro de las actividades socioeconómicas más representativas en la parte alta de la microcuenca (Sotará) están los cultivos de café, cultivos de fresa y cultivos forestales industriales, además de la ganadería extensiva; las explotaciones forestales representadas en el cultivo de especies exóticas de rápido crecimiento como pinos y eucaliptos y la ganadería extensiva con razas criollas; se presentan problemas ambientales derivados de la intervención antrópica no planificada, entre los que se destacan la erosión que llega a ser moderada en

⁹ El diagnóstico de infraestructura actual fue realizado recientemente por el acueducto Aires del Campo con el objeto de justificar al Plan departamental de Aguas la solicitud de recursos de inversión para la optimización del sistema de abastecimiento mediante la construcción de la Planta de tratamiento de agua potable – PTAP.

algunos casos por el sobrepastoreo y el establecimiento de grandes hectáreas de cultivos de fresa sin adopción de prácticas de conservación de suelos (Alcaldía Municipal de Timbío, 2016).

Por su parte, los usuarios del acueducto rural Aires del Campo (Timbío) tienen en su mayoría cultivos de autoconsumo humano en las viviendas, como cultivos de plátano, hortalizas, maíz, café y frijol, sin embargo, comercian productos como el café, tomate y algunas frutas a través de la asociación de productores agropecuarios de Camposano, lo que se configura como una importante Fuente de ingresos; en la vereda Buenos Aires se realizan las fiestas del café ya que justamente este producto es el principal renglón de la economía de esta población, en donde también se está desarrollando el programa de cafés especiales. En cuanto a las actividades pecuarias se encuentra la cría de aves de corral como patos, gallinas, pollos y bimbos para autoconsumo humano de carne y huevos y la cría de conejos, curíes y ganado bovino en menor proporción (Alcaldía Municipal de Timbío, 2016).

Es de resaltar que la actividad ganadera¹⁰ y agrícola han impulsado el desarrollo socioeconómico de la región; el cultivo de fresa¹¹, de acuerdo con reportes de la Gobernación del Cauca (2019) en el último año se han generado más de 90 nuevos empleos formales para las mujeres cabezas de hogar, quienes han encontrado en esta actividad una Fuente adicional de ingresos familiares y según el Observatorio Rural (2019) otro renglón importante como

¹⁰ El 72.4% de las tierras del municipio de Sotará están ocupadas por pastos destinados a la ganadería extensiva; dedicadas en su mayor parte a la producción de ganado vacuno de raza Holstein para la producción de leche y para levante de razas pardo suizo, normando y redpoll para la producción de carne (Diagnóstico socioambiental proyecto distrito de riego San Isidro Sotará, 2019).

¹¹ Colombia aporta el 1% de la producción mundial de fresa siendo el Cauca el segundo departamento productor en el país, con una participación de 23,4%, esta producción se encuentra concentrada en el municipio de Sotará con proyección al aumento (Observatorio rural, 2019).

alternativa de ingresos a la población es la extracción de materiales del río como grava, arena, balastro y explotación de carbón de leña.

Teniendo en cuenta que esta investigación aborda la naturaleza y la sociedad bajo una visión integradora, lo cual se hace desde los conceptos que definen la comprensión de los socioecosistemas en el contexto del cambio global, en este sentido, la anterior caracterización biofísica y socioambiental se configura como un aporte a la comprensión holística de la microcuenca abastecedora río Molino y de ahí se hace el planteamiento del desarrollo metodológico del trabajo, que pretende ser una alternativa que sirva como base para la planificación ambiental de un territorio.

A continuación, se presentan en detalle las Fases de la investigación.

2.3 Fases de la Investigación

La investigación se realizó desde una propuesta metodológica que consideró el constructivismo y la observación participante (Kawulich, 2005), se emplearon técnicas mixtas (cuantitativas y cualitativas), incorporando datos que permitieron caracterizar la estructura de la microcuenca como un sistema socioecológico. La base de información para el trabajo se realizó con la recopilación de información primaria, por medio de trabajo en campo para su obtención; también se empleó información secundaria a través de datos históricos existentes y disponibles.

Es importante referir aquí, que el deterioro de los ecosistemas en términos generales es adverso, la microcuenca río Molino no es ajena a esta situación, haciendo evidente la alteración de las funciones ecosistémicas y en los servicios ambientales. Es así como los impactos ambientales y las consecuentes transformaciones que estos traen a los sistemas naturales se hacen necesarios abordajes conceptuales alternativos, que permitan la integración disciplinar y

de esta manera gestionar las problemáticas de manera sistémica. Como se ha mencionado arriba, asumiendo que la sociedad y la naturaleza no están separados, entonces es pertinente mencionar que la microcuenca río Molino se consideró como un socioecosistema.

Para este estudio la microcuenca río Molino fue abordada desde la relación sinérgica del ser humano, con lo biofísico, siendo estas relaciones complejas y dinámicas, que buscan una transición hacia la sostenibilidad proponiendo una mirada interdisciplinaria, para dar respuesta a las crisis ambientales actuales. Razón por la cual se requiere abordar los factores que influyen positiva o negativamente en la vulnerabilidad.

El concepto de socioecosistema, más allá de ser un instrumento integrador Becker (2012), es un elemento que permite la comunicación y la cooperación entre las diferentes disciplinas científicas. Siendo un modelo conceptual de amplio espectro aplicable a diversos ámbitos incluyendo la gestión ambiental.

La investigación se desarrolló con el marco del proyecto: Análisis de vulnerabilidad e implementación de alertas tempranas para sistemas de abastecimiento de agua en el Departamento del Cauca-AQUARISC. Si bien se ha tomado como referencia información del proyecto, el desarrollo del presente trabajo se aleja del propuesto en AQUARISC, el proyecto trabaja en acueductos de las cabeceras municipales en 9 municipios, este realiza el análisis de la vulnerabilidad por análisis de componentes principales (ACP), en el trabajo que se presenta se realizó para un acueducto rural, se toma la base de las encuestas para el levantamiento de información pero se ajusta a las condiciones de la ruralidad, hay que tener en cuenta que la fórmula de vulnerabilidad utilizada si es la misma se acoge lo que recomienda el IPCC que lo incorpora Colombia y en su última actualización de las comunicaciones de cambio climático, en este nuevo algoritmo se saca a la exposición de la fórmula, ya que es repetitiva con el cálculo

del riesgo, esta discusión y decisión fue casi que en paralelo con lo que se realizó para AQUARISC y el proyecto doctoral, en este sentido se emplea la fórmula (1) donde la vulnerabilidad es la relación de la sensibilidad sobre la capacidad de adaptación

$$V = \frac{S}{Ca} \quad (1)$$

Es importante resaltar que el modelo propuesto es complementario con lo que se trabajó en AQUARISC, en el presente trabajo se hace una integración de los componentes y procesos para el modelo de gestión integral de la vulnerabilidad, en el proyecto no se plantea un modelo como tal, lo que se realiza es un análisis de vulnerabilidad, y como lo plantea su Ob1 Análisis de la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático de sistemas de abastecimiento hídrico en el departamento del Cauca para la gestión integral del agua y el riesgo. Y para este propósito el proyecto entrega una “Análisis de vulnerabilidad y gestión del riesgo para sistemas de abastecimiento de agua considerando la oferta hídrica y la demanda para consumo humano” y los “Planes de gestión integral del agua considerando estrategias de adaptación y gestión del riesgo en las cuencas abastecedoras asociadas a los sistemas de abastecimiento”. Estos se mencionan en el respectivo documento técnico del proyecto AQUARISC y en la MGA del mismo,

En este sentido el modelo desarrollado es un aporte innovativo de la tesis, reconociendo que AQUARISC aportó en el desarrollo, mencionar que la investigación se hizo en marco del proyecto AQUARISC y que la relación se establece en los términos de los apoyos y de la información que el proyecto brindó a través de sus investigadores y en aspectos operativos y logísticos a través de los enlaces municipales y promotores ambientales, reiterando que este

proyecto doctoral realizó un modelo de gestión de la vulnerabilidad y que AQUARISC o que planteó fue el análisis de la vulnerabilidad y el riesgo.

El desarrollo del modelo de gestión integral de la vulnerabilidad, se ejecutó a partir de las siguientes fases: *i)* Identificación los factores de vulnerabilidad, *ii)* Análisis de la vulnerabilidad, y *iii)* Propuesta de lineamientos para la gestión integral con enfoque adaptativo de la microcuenca abastecedora, como se presenta en la Figura 11. Las fases se detallan a continuación.

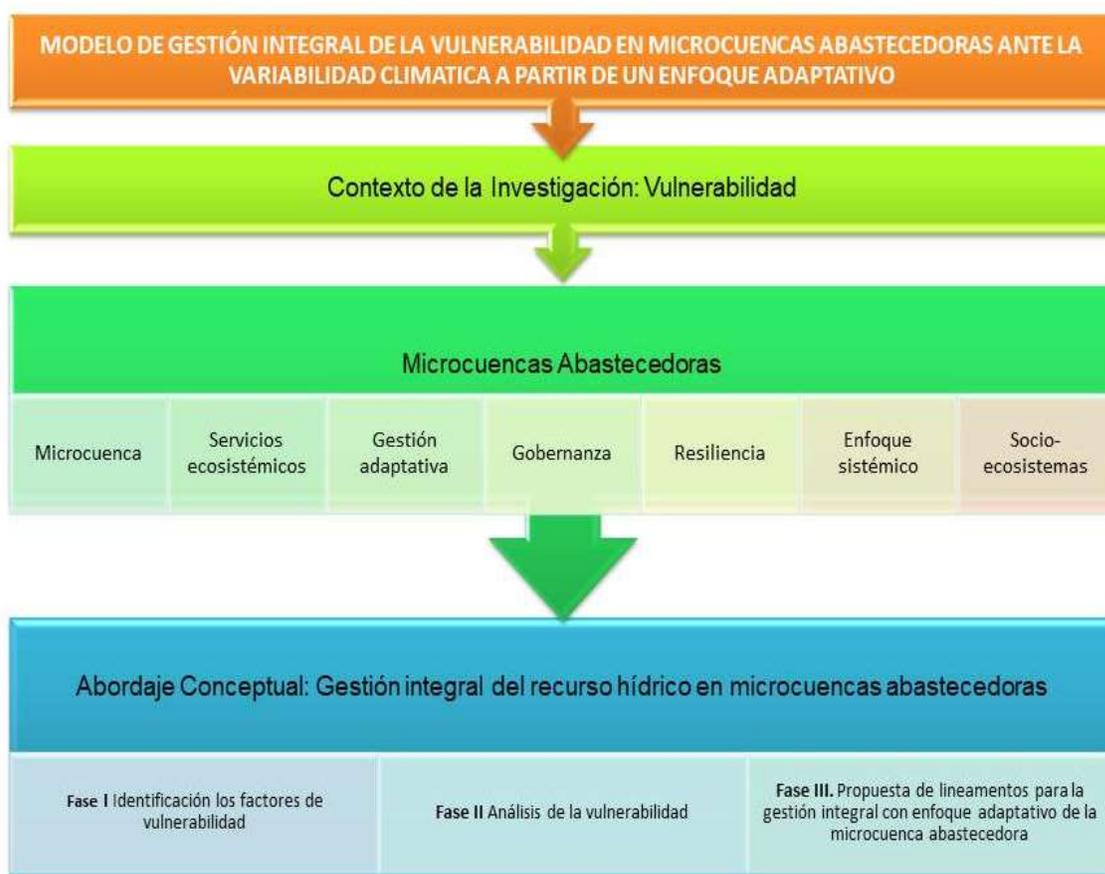


Figura 11. Esquema metodológico para desarrollar el modelo de gestión integral de la Vulnerabilidad

2.3.1 Fase I. Identificación los Factores de Vulnerabilidad

Esta fase de investigación tuvo el propósito de evaluar los factores que inciden en la vulnerabilidad de la microcuenca, de esta manera se develó, en el territorio, cuáles han sido los factores clave de cambio que han inducido modificaciones en las prácticas productivas y culturales, bajo el enfoque de socioecosistema.

De lo anterior es importante resaltar que para esta investigación se entendió como factores claves de cambio los procesos, acciones, o eventos naturales o antrópicos que han generado la necesidad de crear o adoptar nuevas alternativas o medidas conservando o al menos manteniendo sus condiciones básicas de sostenibilidad en términos de ofertas del sistema y de satisfacer las demandas de las comunidades humanas.

La identificación de los factores de vulnerabilidad se hizo a través del análisis por indicadores mediante el modelo DPEIR: fuerzas o factores direccionadores, presión (es), estado, impacto, respuesta, este modelo incluye adicionalmente las causas de la presión y los impactos y/o consecuencias de las modificaciones del estado de las condiciones ambientales de un sistema (Svarstad, H., L. K. Petersen, D. Rothman, 2008); en el contexto de los socioecosistemas, este abordaje permite un análisis desde la dimensión natural, social y sus interacciones (Vilardy, 2009; Berkes et al., 2003; Gallopin, 1991).

Finalmente se resalta que se analiza es sistema de abastecimiento considerando sus elementos constitutivos: a) Fuente abastecedora, b) Prestador del servicio de agua para consumo humano, c) Usuarios y d) retorno (o Saneamiento), tal como se planteó anteriormente en la definición de sistema de abastecimiento para esta investigación.

2.3.2 Fase II. Análisis de la Vulnerabilidad de la microcuenca abastecedora

El método empleado para la estimación de la vulnerabilidad se basa en el planteamiento de la quinta evaluación del IPCC donde la vulnerabilidad es la relación entre la sensibilidad y la capacidad de adaptación, dado que el modelo de gestión se hizo desde un enfoque adaptativo que involucra el conocimiento del territorio y la capacidad de respuesta se los actores del sistema ante escenarios probables en un contexto de incertidumbre, el abordaje se hizo desde la visión de socioecosistema que permitió revisar la interacción de lo natural y los sistemas sociales mediada por el servicio ecosistémico de abastecimiento que para este caso fue el agua.

En este sentido, el cálculo de la vulnerabilidad de manera sistemática y consecutiva mediante los siguientes pasos: paso 1: Delimitación del alcance y dimensiones del análisis, paso 2: Modelo causal y DPEIR, paso 3: Asignación de dimensiones y categorías acorde a la pertinencia de cada subsistema, paso 4: Configuración batería de indicadores, paso 5: Revisión fórmulas para el análisis de la vulnerabilidad y, paso 6: Estimación de la vulnerabilidad.

2.3.3 Fase III. Lineamientos para la Gestión integral de la Vulnerabilidad con Enfoque

Adaptativo

Para las estrategias de gestión ante los resultados de la estimación de la vulnerabilidad, para gestionar acciones conjuntas y concertadas con las comunidades y las instituciones, y de esta forma mitigar los impactos que las actividades socioeconómicas y la variabilidad climática causan en el sistema de abastecimiento. Se hace un análisis por subsistema, Fuente, Prestador y Usuarios, y de cada uno de ellos se detalla en los indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación; algunas estrategias de gestión para las métricas que aportan de forma (+) o (-) al sistema de abastecimiento.

3 MODELO PROPUESTO PARA GESTIÓN INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD EN LA MICROCUENCA RÍO MOLINO - TIMBÍO

3.1 Perspectiva Compleja y Sistémica de un Modelo de Gestión de la Vulnerabilidad Desde un Enfoque Adaptativo

En el territorio donde se desarrolló la investigación, las comunidades tienen la capacidad de enfrentarse a las grandes multinacionales como Smurfit Kappa Colombia; es así como la comunidad organizada ha iniciado procesos de reclamación por afectación en sus territorios y sus Fuentes de abastecimiento de agua. Producto de esto se ha generado una asociatividad a través de iniciativas como Corprocuencias y Alianzas por el Agua. Este es un ejemplo entre muchos en los cuales la comunidad se organiza y tiene injerencia sobre la ordenación del recurso y la gestión de la vulnerabilidad de las microcuencas abastecedoras.

Lo anterior no quiere decir que sea una posición institucionalista, se reconoce la institucionalidad, pero principalmente las capacidades locales y la gestión ya realizada, es decir; se abordó el trabajo desde una posición que permitió conocer y reconocer las realidades para interpretarlas y poder contribuir con una gestión integral del agua a través de la gestión de la vulnerabilidad de los territorios a partir de las capacidades de adaptación de la comunidad; como elementos esenciales para el análisis de vulnerabilidad, es importante hacer referencia a los factores biofísicos que determinan la disponibilidad de agua en las microcuencas abastecedoras, estos son: temperatura y precipitación.

En este sentido se plantea la problemática en términos de la gestión del recurso hídrico en las microcuencas abastecedoras donde no se percibe el desabastecimiento de agua como un problema, pero si hay una vulnerabilidad latente se ha de mayor o menor dependiendo del ejercicio mismo de los actores en el territorio (microcuenca abastecedora); en el entendido de

que la gestión de la vulnerabilidad en la microcuenca alta disminuye las probabilidades de pérdida de servicios ecosistémicos en toda la microcuenca (alta, media y baja).

Por lo anterior la investigación hace el planteamiento de un modelo que a partir del enfoque adaptativo será un elemento que aporte en la gestión de la vulnerabilidad en una microcuenca abastecedora para enfrentar el desabastecimiento de agua ante la variabilidad del clima; el planteamiento del modelo, los elementos que considera y su enfoque mismo, permite la identificación de los factores de vulnerabilidad en el espacio donde se reconocen las formas y procesos de interacción de los actores, tanto de lo humano como lo no humano, de lo biótico como lo no biótico; es decir, el modelo tiene un abordaje sistémico multiescalar y multidimensional (considera lo social, lo económico, lo ambiental y lo político institucional).

Existen muchas formas de abordar la vulnerabilidad y el riesgo, donde se destacan: medios de vida sostenibles, modelo de presión liberación (PAR), la doble estructura de la vulnerabilidad, modelo vulnerabilidad de lugar, modelo de riesgo amenaza (HR), vulnerabilidad desde el cambio global. La gran mayoría de estos modelos conceptuales se remiten a conocer la vulnerabilidad social y la vulnerabilidad biofísica, dado que se enfocan en el análisis del riesgo ante una amenaza específica (generalmente de origen natural) son abordados frecuentemente desde la ingeniería, geografía y las ciencias sociales (Valencia, 2014).

Para la estimación de la vulnerabilidad de una microcuenca abastecedora, con énfasis en el abastecimiento en zona rural, se tuvieron en cuenta los desarrollos del proyecto AQUARISC, para luego generar un modelo de gestión de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática con un enfoque adaptativo, que contribuya a la gestión integral del recurso hídrico a través de la gestión de la vulnerabilidad mediante la apropiación del conocimiento y

fortalecimiento de capacidades de adaptación del territorio. A continuación, se presentan los aspectos tenidos en cuenta para la construcción del modelo.

3.1.1 Alcance del Modelo

Al abordar desde las Ciencias Ambientales la gestión integral del recurso hídrico con enfoque adaptativo de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática en una microcuenca abastecedora es necesario tener una visión holística que permita conocer las partes del sistema y gestionarlo de forma articulada, para ello se requiere una posición sistémica, compleja, interdisciplinar, de complementariedad que propicie las condiciones para superar las brechas epistemológicas, ontológicas y analíticas que impiden una visión compleja y que articule lo sociocultural y lo biofísico para la gestión adaptativa de las microcuencas abastecedoras (Figura 12).

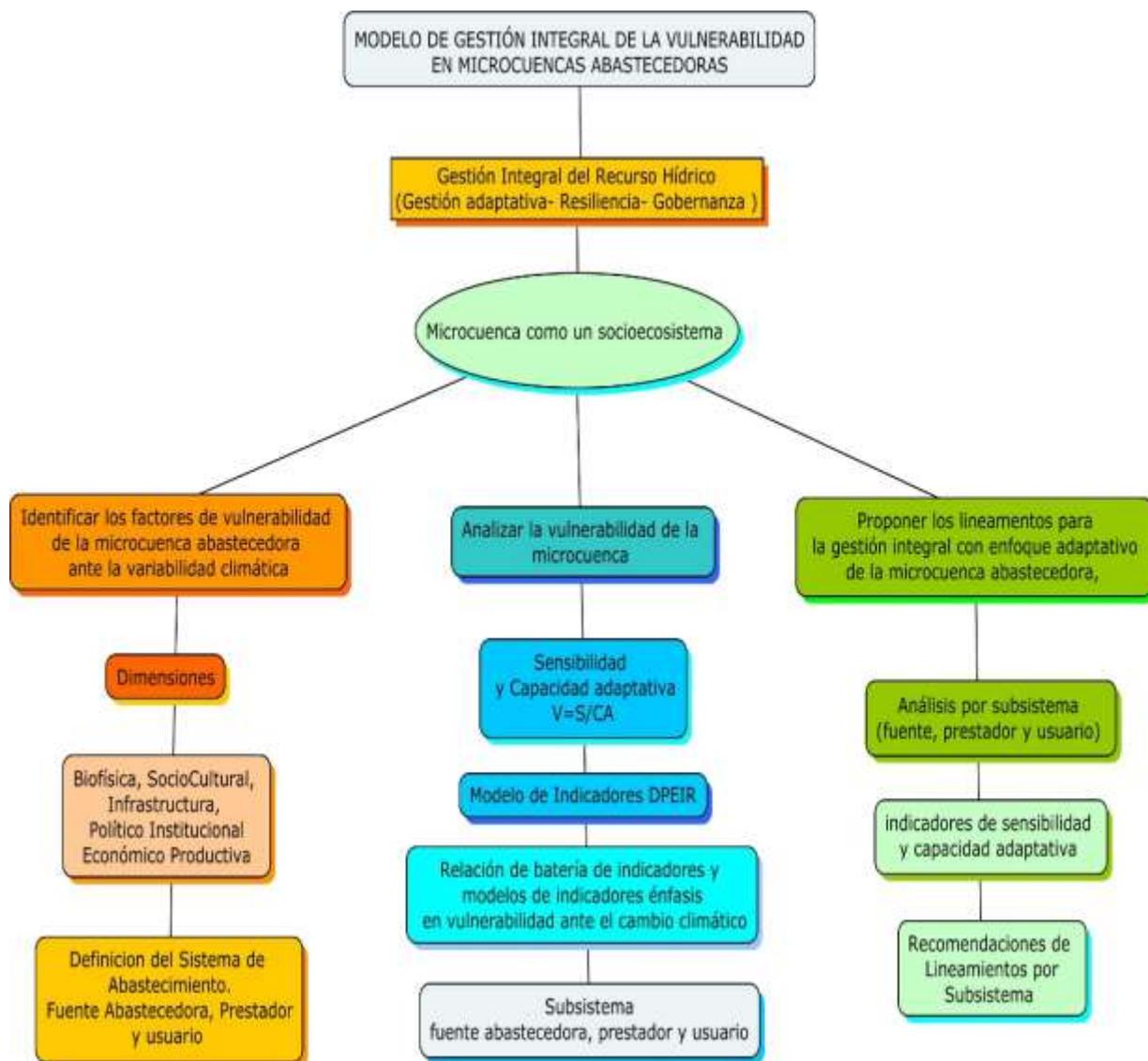


Figura 12. Modelo de gestión de la Vulnerabilidad de la microcuenca río Molino

3.1.2 Bases Conceptuales del Modelo

Analizar la gestión de la vulnerabilidad de manera integral requiere comprender los territorios, con un enfoque sistémico, en términos de su estructura y dinámica; analizando las relaciones e interacciones que se presentan entre las comunidades y su entorno natural, lo cual determina los cambios y los procesos de transformación y adaptación que se están generando, por lo tanto, las bases conceptuales del modelo son:

- Comprender los aspectos inherentes a la capacidad de adaptación, entendida como la capacidad de recuperarse ante presiones externas y regresar a su situación antes de la perturbación, regenerándose sin alterar sustancialmente su estructura y funciones, en una condición o particularidad de conservación creativa” (Reyes y Ballesteros, 2011, Walker y Salt, 2012).
- Analizar la integración del hombre con el entorno biofísico, sus relaciones e interacciones de la sociedad y la naturaleza es fundamental para la comprensión de los fenómenos de transformación en estos sistemas naturales.
- Los territorios deben entenderse como sistemas abiertos sólo comprensibles globalmente desde la metáfora de la panarquía (Holling, 2001), en una estructura anidada de sistema, con afecciones múltiples a distintas escalas y velocidades de cambio (Holling, 2001) y con un principio de holarquía.
- Las problemáticas planteadas se abordan desde la comprensión sistémica analizando el territorio de forma multidimensional, reconociendo la interdependencia y complementariedad que existe entre sus componentes y las formas de gestión que realizan los actores que habitan el territorio, aplicando el principio de reductibilidad.

- El concepto de adaptación basada en ecosistemas (EbA) se fundamenta en el análisis y complejidad que albergan los sistemas naturales y en el uso de diferentes disciplinas que ayudan a comprender la multifuncionalidad de los ecosistemas. El empleo de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como una estrategia alternativa de adaptación al cambio climático. Este abordaje tiene cinco componentes interrelacionados; las estructuras ecológicas, las funciones ecológicas, beneficios de la adaptación, la valoración y las prácticas de gestión de los ecosistemas.
- Se tuvieron en cuenta tres conceptos fundamentales que permiten complementar la GIRH, como planteamiento central que promueve convergencias múltiples desde el ámbito académico, para fortalecer el abordaje sistémico requerido en el manejo del agua bajo la premisa de sostenibilidad son: la gestión adaptativa, la resiliencia y la gobernanza.

3.1.3 Condicionantes para la Aplicación del Modelo

La aplicación del modelo está dada por determinantes que permitirían lograr una regularidad conceptual y metodológica al momento de aproximarse a los socioecosistemas para efectos de su gestión ambiental:

- Hacer reductible el sociosistema de interés estableciendo su correspondencia con un todo más complejo.
- Abordar el análisis del socioecosistema desde su función y estructura, para su gestión y no desde los impactos de las actividades.
- Focalizar el análisis en áreas representativas.

- Entender la construcción socioambiental del territorio.
- Establecer las nociones de gestión ambiental presentes en el territorio, observando sus particularidades.
- Caracterizar los actores clave y sus roles en materia de gestión ambiental.
- Identificar las características de la relación establecida con el entorno (relación sociedad-naturaleza).
- Acercarse de forma interdisciplinar e intercultural a la gestión ambiental en las zonas priorizadas.

El modelo tendrá la capacidad de abstraer un fragmento de las realidades de un territorio en términos de las problemáticas asociadas con el abastecimiento de agua y acercarse a la comprensión de las vulnerabilidades existentes y cómo se gestionan; cómo se ha planteado el aporte es reconocer que, desde la academia e instituciones gubernamentales, se han realizado análisis de la vulnerabilidad de las microcuencas de abastecimiento en el departamento del Cauca, desde un abordaje interdisciplinario que integra las dimensiones social, biofísica, económica, cultural, política y de infraestructura, relacionadas con la oferta, calidad y demanda de agua, esto indica un acercamiento al análisis sistémico.

En el contexto local del departamento y sus microcuencas, es la forma en la que se evalúa la vulnerabilidad, el contraste entre la aproximación tradicional (IPCC,2007) como se muestra en la fórmula (2)

$$V = EX * S - (Ca) \quad (2)$$

Y el nuevo método (IPCC, 2014) como se expresa en la fórmula (3),

$$V = \frac{S}{Ca} \quad (3)$$

Por consiguiente, la selección y construcción participativa de indicadores para evaluar la vulnerabilidad en las diferentes dimensiones, recoge la interdisciplina y el diálogo de saberes generando un proceso abierto, holístico e igualitario como una forma de adquirir conocimiento de manera reflexiva entre investigadores y comunidad a fin de mejorar la racionalidad, la justificación y comprensión de las dinámicas del territorio; sin embargo, la efectividad del análisis de vulnerabilidad es mediada por la percepción de la comunidad en zona rural frente a la gestión relacionada con el abastecimiento de agua.

En la búsqueda de alternativas de manejo de estos socioecosistemas, es conveniente procurar gestionar las capacidades de adaptación para que el sistema sea capaz de absorber perturbaciones externas y acontecimientos no previstos, a fin de lograr una capacidad de amortiguar perturbaciones, renovarse y reorganizarse y aprender después de un cambio; sin esto el socioecosistema es vulnerable a perturbaciones y propenso al cambio o transformación, no tiene la capacidad para adaptarse y por ende no reduce los daños futuros. En la gestión de la resiliencia del socioecosistema se juega la subsistencia, la vulnerabilidad, los conflictos, el buen vivir de las comunidades y la conservación de los usos y costumbres (Joaqui, 2017).

En este sentido, la configuración del modelo propuesto parte del análisis de la vulnerabilidad, como alternativa para comprender el socioecosistema, desde una mirada integral con una batería de indicadores cualitativos y cuantitativos que permiten abstraer las condiciones del territorio ante situaciones de abastecimiento de agua para comunidades rurales. Es importante resaltar que la génesis del modelo obedece a una articulación con los actores sociales y atiende al levantamiento y análisis de información en el territorio.

Partiendo de los principios que rigen la gestión integral del recurso hídrico y las sinergias que existen entre ellos y el bienestar de las comunidades, se resalta que el agua como un recurso limitado y vulnerable, indiscutiblemente esencial para el desarrollo de la vida y su entorno, debe manejarse desde un enfoque participativo que garantice la provisión y protección del agua en sus diferentes usos, reconociendo que el recurso hídrico más allá de su valor económico es un bien público.

Para cada momento se tiene el desarrollo de una serie de procesos consecuentes y sistemáticos para el desarrollo de los propósitos planteados; para la identificación de los factores de vulnerabilidad se hace una definición y caracterización de los factores en sus respectivas dimensiones Biofísica, Sociocultural, Infraestructura, Político Institucional y Económico Productiva, también se define el sistema de abastecimiento como tal, teniendo en el cual se consideran tres subsistemas para el respectivo análisis y luego hacer un análisis integral del mismo, teniendo en cuenta la teoría general de sistemas, en este sentido el sistema de abastecimiento está compuesto por tres subsistemas a saber; Fuente, Prestador y Usuarios.

En el segundo pilar de desarrollo para el análisis de la vulnerabilidad (V) de la microcuenca, considerando las definiciones anteriores se estudia el sistema para sensibilidad (S) y capacidad de adaptación (Ca) y se emplea la fórmula (4); para cada subsistema, se realiza el trabajo y se emplea el modelo por indicadores DPEIR, ya con la estimación de la vulnerabilidad se proponer los lineamientos para la gestión integral con enfoque adaptativo de la microcuenca abastecedora, para esto se realiza el respectivo detalle por subsistema.

$$V = \frac{S}{Ca} \quad (4)$$

3.2 Factores de la Vulnerabilidad en la Microcuenca Río Molino

El análisis de la vulnerabilidad de los recursos hídricos ha tenido diversos enfoques partiendo de la idea de que esta no es frecuente y es un fenómeno no observable que responde a la misma complejidad de los sistemas analizados, en este sentido, los estudios han examinado esta situación desde diversos enfoques como la evaluación desde del comportamiento de las redes de tuberías de agua ante escenarios de falla de la infraestructura y el análisis de la vulnerabilidad de las Fuentes de abastecimiento ante eventos climáticos extremos, entre otros tantos (Escolero O, Kralisch E, Martínez S, 2016).

Es así como estimar la vulnerabilidad de las microcuencas abastecedoras de agua para consumo humano no es tarea fácil, dado que los territorios son diversos, incluso entre las mismas regiones por lo que es importante analizar la vulnerabilidad de forma multidimensional teniendo en cuenta el contexto y la percepción de las amenazas y del impacto de los eventos climáticos extremos sobre las dinámicas del territorio.

A pesar de la complejidad, los métodos que incluyen un análisis por indicadores permiten la evaluación de los factores, para lo cual es necesario tener amplia la visión del territorio y de los parámetros que determinan no solo la calidad y cantidad de agua sino también los actores involucrados.

Sobre el abordaje del abastecimiento de agua en zonas rurales, como se plantea en esta investigación, se hace el análisis de la vulnerabilidad desde un enfoque de gestión adaptativa, conociendo, entendiendo e incorporando de manera explícita los procesos y atributos de las dinámicas en la comunidad rural, que pueden en cualquier temporada operar

como factores de vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento ante la variabilidad climática, es decir; la vulnerabilidad debe estimarse desde una visión sistémica considerando factores extrínsecos (modelos y políticas de desarrollo nacional e internacional, cambio global) e intrínsecos (políticas locales, saberes tradicionales, tipo de ecosistema y patrones culturales y prácticas productivas) (Valencia et al., 2014).

Para este fin se entiende como factores que determinan la Vulnerabilidad aquellos procesos, acciones, o eventos naturales o antrópicos que establecen las condiciones de fragilidad del sistema en términos de la Sensibilidad, la Exposición o la Capacidad de adaptación, alterando las condiciones de sostenibilidad relacionada con las ofertas del sistema y de satisfacer las demandas de las comunidades humanas bajo el esquema de análisis de los indicadores: Dirección, Presión, Estado, Impacto, Respuesta - DPEIR (Figura 13).

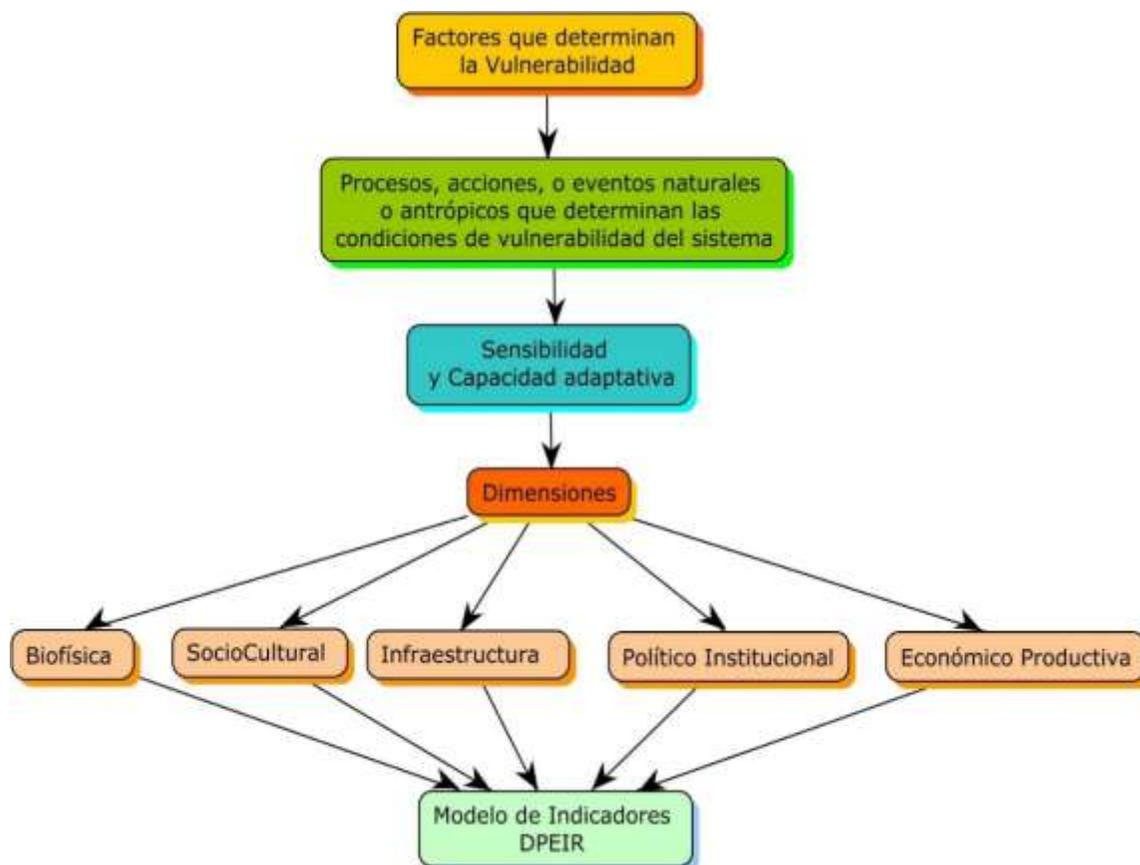


Figura 13. Factores que determina la vulnerabilidad

Siguiendo con el análisis, el uso de indicadores para la estimación de la Vulnerabilidad cobra relevancia, pues es el enlace que une la brecha entre la academia y los tomadores de decisiones, sin embargo, estas herramientas representan un gran reto al momento de la identificación y selección de aspectos que sean mensurables, que puedan y que representen conjuntamente aspectos y procesos más significativos que generen vulnerabilidad (El-Zein, A.,

& Tonmoy, 2015), es por eso que su selección y análisis debe ir acompañada de la adecuada contextualización del territorio y fidelidad de la información.

3.2.1 Uso y Enfoque por Indicadores

El análisis por indicadores se rige al propósito de la investigación para efectos de su delimitación, alcance y productos. Se tienen tres momentos: *i)* búsqueda de información, *ii)* consulta en Fuentes regionales y *iii)* consolidación del documento. Se inicia a partir de la información secundaria obtenida a través de bases de datos y documentos de consulta específicos; luego se visitan algunas instituciones de la región como potenciales proveedores de información para la batería de indicadores, y por último se consolida la información recaudada en un documento (Figura 14).

Dado que el enfoque del análisis es la variabilidad climática, para cada uno de los elementos que constituye la vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad de adaptación), el resultado de un análisis multicriterio espacio-temporal para cada subsistema.

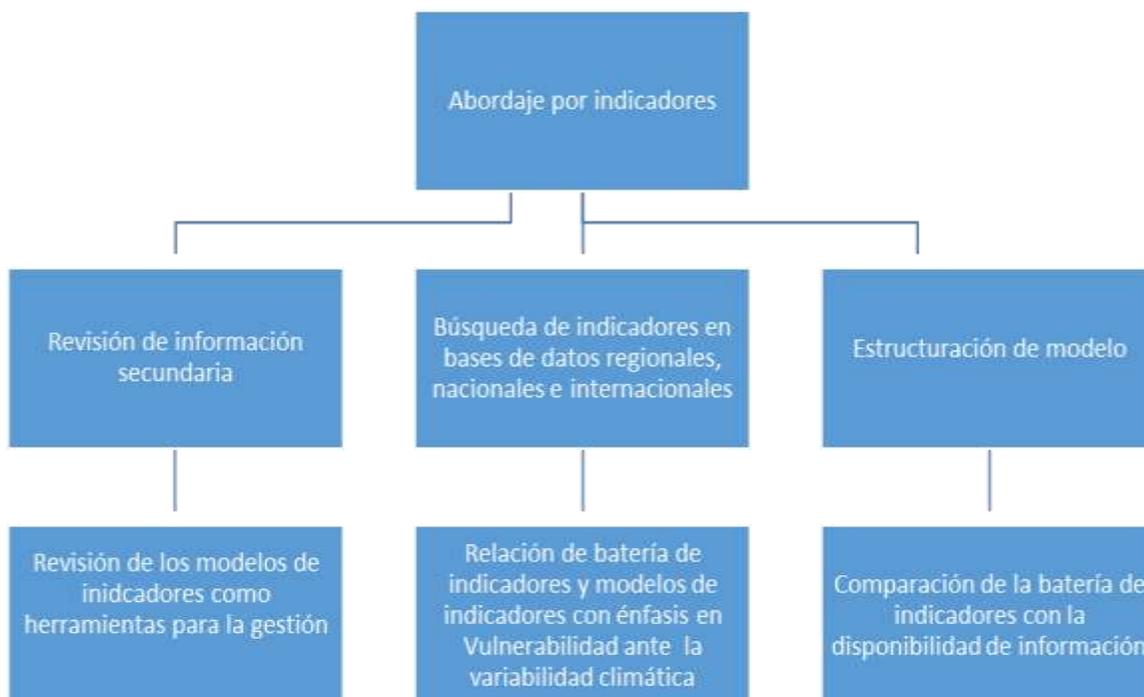


Figura 14. Abordaje por indicadores

3.2.2 Descripción de las Dimensiones de Análisis

La estructuración de las dimensiones de análisis parte de los antecedentes y bases conceptuales del desarrollo sostenible enmarcados en el alcance planteado en objetivos específicos de la investigación, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones de análisis de la Vulnerabilidad

Dimensiones de análisis de la Vulnerabilidad	Biofísica	Hace referencia a un conjunto de estructuras y relaciones del contexto ambiental. Comprende elementos de usos del suelo, ecosistemas, agua, saneamiento y drenaje y gestión de residuos sólidos.
	Político-institucional	Busca evaluar la capacidad de gestión institucional, administrativa y fiscal de las instituciones a nivel local. Además, contempla las prioridades y porcentaje de inversión del presupuesto de las entidades territoriales, en temas relacionados con gestión integral del agua para este caso.
	Infraestructura	En este aspecto es importante hacer un análisis particular, pues la infraestructura de los sistemas de abastecimiento es fundamental para tal fin, teniendo en cuenta que esta puede ser del origen más primario como las soluciones de agua, hasta las que incorporan técnicas y tecnologías más avanzada, conocer su comportamiento en términos de sensibilidades y capacidades de adaptación es relevante para el análisis.
	Económica-productiva	Comprende lo relacionado con la capacidad productiva y económica del territorio, cual es la base de sustento del mismo, las principales características económicas y productivas de la región, cuáles son los aspectos más significativos que están aportando al producto interno bruto de la región y que están oficialmente contemplados en los diferentes documentos o procesos de planificación territorial.
	Socio-cultural	Comprende las características que definen el territorio, como, por ejemplo, la cultura, el deporte, la educación y la salud.

3.2.3 Modelo de análisis por indicadores - DPEIR

A partir del marco de análisis de Dirección – Presión – Estado – Impacto – Respuesta (DPEIR) basado en el concepto de causalidad “las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio y cambian su calidad y la cantidad de los recursos naturales, la sociedad responde a esos cambios a través de políticas ambientales, sectoriales y económicas” (Rueda, 2000), este modelo incluye adicionalmente las causas de la presión y los impactos y/o consecuencias de las modificaciones del estado de las condiciones ambientales de un sistema (Svarstad, H., L. K. Petersen, D. Rothman, 2008). Para la presente investigación se usa el modelo DPEIR, debido a que permite evaluar diferentes componentes del sistema, la accesibilidad para conseguir información y el potencial de comparación, continuación se detalla cada una de sus componentes:

Dirección o factores direccionadores: los indicadores de factores determinantes describen las condiciones ambientales, sociales, demográficas y económicas que influyen significativamente las presiones sobre el medio ambiente.

Presión (es): son las actividades humanas que causan o pueden causar problemas en el ambiente. Los indicadores de presión describen la emisión de sustancias contaminantes, y el uso de los recursos naturales.

Estado: los indicadores de estado describen la situación de diversos aspectos del ambiente en un momento determinado. El estado depende, además de las condiciones naturales, de las presiones sobre el medio y de las medidas de protección del medio ambiente que se hayan implantado.

Impacto: los indicadores de impacto muestran las consecuencias de los cambios en el estado del ambiente o en la población.

Respuesta: los indicadores de respuesta reflejan las iniciativas de la sociedad y la administración para la mejora de los problemas ambientales.

3.2.3.1 Características de los Indicadores

Los indicadores se priorizan con base en su pertinencia, asociada al desarrollo sostenible, así como su correspondencia con los criterios presentados en la siguiente Tabla 2

Tabla 2. Descripción de los indicadores

Criterios de priorización de los indicadores para el análisis de la vulnerabilidad	Pertinencia	Que concierne y es correspondiente con la dimensión y el propósito del análisis
	Disponibilidad	Que la información para el indicador se puede disponer libremente o está lista para utilizarse
	Accesibilidad	Permiso de uso o restricción: libre, restrictivo o condicionada
	Ser único	No es redundante
	Ser medible	De forma cualitativa o cuantitativa
	Simplicidad	De fácil elaboración
	Especificidad	Que permita medir realmente lo que se desea
	Confiabilidad	Los datos utilizados para la construcción del indicador deben ser fidedignos
	Replicabilidad	Que se posibilite ser aplicado a otras escalas y lugares

3.2.4 Análisis de la Microcuenca Como un Socioecosistema

Las microcuencas son territorios que nacen del constructo a partir de la relación sociedad - naturaleza, su abordaje debe considerar la complejidad de los elementos, redes e interacciones de estos socioecosistemas de una manera holística y transdisciplinaria, para una gestión del territorio orientada a la sostenibilidad ambiental.

En este sentido, es necesario mencionar que las alteraciones globales que están sucediendo en la actualidad han afectado la disponibilidad en cantidad y calidad de los servicios ambientales, siendo el agua un elemento sensible que se ha visto afectado, y por ende las comunidades rurales asentadas en las regiones andinas, que han visto como en un período de tiempo relativamente corto, el líquido se ha deteriorado y por ende su calidad de vida, ocasionando enfermedades hídricas, conflictos por el uso, desplazamientos entre otras situaciones que requieren atención desde diferentes enfoques.

Los procesos de gestión y planificación con los que se enfrenten estas situaciones demandan que las problemáticas ambientales sean abordadas, con perspectiva global y contexto local, buscando alternativas que integren la naturaleza y la sociedad. Siendo consecuentes con la premisa de que el hombre y la naturaleza se adaptan en un proceso de co-evolución, para convertirse en un sistema formado por el acoplamiento de sistemas sociales y naturales a lo largo de la historia (Berkes et al., 2003; Anderies et al., 2004; Gallopín, 2006; Martín-López et al., 2009).

El enfoque de socioecosistemas, permite realizar un análisis desde la dimensión natural, social y sus interacciones (Gallopín, 1991). Los sistemas naturales (sistema biofísico) están conformados por los ecosistemas (sistema ecológico) y los sistemas sociales están

compuestos por organizaciones sociales, usuarios de los servicios de los ecosistemas y la infraestructura física y social (Berkes et al., 2003; S. Vilaridy, 2009).

El sistema ecológico se relaciona con el sistema social por medio de los servicios que ofrecen los ecosistemas y la dimensión humana se relaciona con el sistema natural a través de los procesos de gestión, que se pueden visualizar de diferentes formas como: los aspectos relacionados con la gobernanza; los procesos de aprendizaje tanto local como científico, el estado de conocimiento científico actual y la manera en la que se expresa el conocimiento local y científico en las prácticas de manejo que son aplicadas; la socialización y difusión de este relacionamiento se realiza a partir de las redes sociales existentes y se fundamenta en la confianza para la gestión del sistema (Berkes et al., 2003; Joaqui, 2017; S. Vilaridy, 2009).

3.3 Estimación y Análisis de la Vulnerabilidad

El análisis de la vulnerabilidad se hace teniendo en cuenta la metodología planteada por el Proyecto AQUARISC, donde el sistema de abastecimiento de agua se define como *“aquel sistema que provee a los usuarios el servicio de agua para consumo humano, considerando la disponibilidad y garantizando la cobertura, la calidad y continuidad del agua tratada; contemplando un ciclo virtuoso de relacionamiento multidireccional del sistema para el manejo sostenible del recurso hídrico”*; dicho sistema está conformado por tres subsistemas a saber: Fuente, Prestador, y Usuarios.

Con el propósito de estimar la vulnerabilidad de manera holística y multidimensional a fin de construir un modelo conceptual donde se estima la vulnerabilidad para sistemas de abastecimiento en zona rural con miras al fortalecimiento de las capacidades de adaptación, gestión de la vulnerabilidad y el riesgo en la región. Es de resaltar que el sistema de

abastecimiento se puede ver afectado por déficit o exceso de agua en términos de la continuidad y/o calidad del recurso y la gestión debe hacerse en el sentido de reducir los impactos negativos sobre la salud de las personas y el desarrollo de sus actividades socioeconómicas.

Teniendo en cuenta que gran parte de la población en los municipios del Cauca y de Colombia se localiza en veredas y centros poblados, se resalta que el aporte de este trabajo está principalmente en el análisis para zonas rurales teniendo en cuenta un enfoque diferenciado, en donde lo rural se define administrativamente como el área municipal por fuera del perímetro urbano, además, es de resaltar que la población de las zonas rurales emplea el agua en dos actividades principales, actividades agropecuarias y de uso doméstico (Restrepo, 2010), en este sentido para este estudio se acoge el concepto de usos múltiples de agua.

Así planteado, la metodología que se adaptó para un análisis en zona rural, permite estimar la vulnerabilidad contextual multidimensional (a partir de datos cualitativos y cuantitativos empleando un modelo constructivista (de abajo hacia arriba) mediante el uso de indicadores con cálculos en matrices y su espacialización a través de sistemas de información geográfica.

Método para la estimación de la vulnerabilidad

Un sistema expuesto a un factor de estrés como la variabilidad climática es vulnerable a un daño, en este sentido, el enfoque de evaluación de la vulnerabilidad que se presenta a partir del cuarto informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014) involucra los conceptos de sensibilidad y capacidad de adaptación en un sistema expuesto y en el informe especial para cambio climático se hace énfasis en el manejo del riesgo de un sistema en peligro desde un enfoque de evaluación que involucra la exposición y la vulnerabilidad, esta

última expresada como la relación inversa entre la Sensibilidad y la Capacidad de adaptación (IPCC, 2018).

Como se plantea en la tercera comunicación de cambio climático la variabilidad del clima potencia los efectos adversos para los sistemas humanos y naturales dependiendo de su nivel de exposición y vulnerabilidad ante un evento extremo (IDEAM, 2016).

Con base en los planteamientos anteriores, para la presente investigación se estimó la vulnerabilidad (V) teniendo en cuenta la relación inversa entre la sensibilidad (S) y la capacidad de adaptación (Ca), como se muestra en la fórmula (5) mediante un análisis multidimensional ante la variabilidad climática de un sistema de abastecimiento de agua en zona rural desde el enfoque de los socioecosistemas teniendo en cuenta la relación existente entre la microcuenca abastecedora y sus procesos naturales con las actividades antrópicas, es así como el modelo de gestión se hace desde un enfoque adaptativo que involucra el conocimiento del territorio y la capacidad de respuesta de los actores del sistema ante escenarios probables en un contexto de incertidumbre.

$$V = \frac{S}{Ca} \quad (5)$$

Análisis de la vulnerabilidad desde la visión de socioecosistemas

El enfoque de socioecosistemas, permite realizar un análisis desde las interacciones del sistema natural y social (Gallopín, 1991).

Los sistemas sociales y los ecosistemas están estrechamente vinculados y, por tanto, la delimitación exclusiva de un ecosistema o de un sistema social resulta arbitraria y artificial (Martín-López et al., 2012). En este sentido, las interacciones que se dan dentro de una

microcuenca conllevan a un vínculo mediado por el uso de los servicios ambientales, en este caso el agua para abastecer las diferentes necesidades de las comunidades, tal como lo plantean autores como (Berkes et al., 2003; S. Vilarly, 2009).

Pasos para el cálculo de la vulnerabilidad

La propuesta metodológica involucra un análisis de la vulnerabilidad teniendo en cuenta las dimensiones: biofísica, económica, sociocultural, institucional y de infraestructura, haciendo un análisis de abajo (entendido como la base social en el territorio) hacia arriba (tomadores de decisión en la estructura de poder que se identifica en el socioecosistema), mediante la implementación de indicadores, donde el sistema se delimita como una unidad mínima de agregación que es la microcuenca de abastecimiento que comprende el área circundante de la bocatoma, la conducción, la planta de tratamiento, la empresa prestadora del servicio y la comunidad usuaria del agua del respectivo acueducto.

Pueden encontrarse diferentes procedimientos para analizar la vulnerabilidad dependiendo del sistema, el enfoque y los antecedentes conceptuales y metodológicos; para este estudio se toman como referentes los pasos empleados por diferentes autores (Nicholls & Misdrop, 1993; Schröter et al., 2005; Polsky et al., 2007; UNEP, 2009):

Paso 1: Delimitación del alcance y dimensiones del análisis

Para la delimitación del alcance del análisis de vulnerabilidad se plantean a continuación los atributos asociados y el modelo de indicadores empleado:

¿Quién o qué es vulnerable? – Unidad de Análisis microcuenca abastecedora

¿Frente a qué es vulnerable? – a condiciones de eventos extremos de variabilidad climática

¿Cuándo o en qué momento es vulnerable? – Horizonte temporal (vulnerabilidad actual)

Atributo específico de la vulnerabilidad – territorio que puede sufrir daño

Se emplean las dimensiones: biofísica, económico-productiva, político-institucional y socio-cultural; con el fin de estructurar los elementos interactuantes en la microcuenca abastecedora, vistos de una manera integral.

Paso 2: Modelo de Indicadores DPEIR

La incorporación del modelo DPEIR (Direccionador - Presión - Estado - Impacto - Respuesta), para la selección de indicadores se basa en las relaciones causa-efecto intrínsecas de la unidad que se está analizando. Diferentes autores (Martinez, 2017; Gallopin, 2006; Martin, 2009; Borderías & Muguruza, 2014) exponen que el modelo DPEIR acoge las dinámicas que ocurren en un sistema considerando las interacciones de los elementos que facultan diversos procesos y respuestas, agrupando los indicadores en cinco tipologías.

El mismo autor plantea que los indicadores son entendidos como variables que representan un atributo del sistema (condición, característica, propiedad) según un método determinado que permite su observación y medida. La interpretación del indicador, parte de la premisa que “x” variable ofrece información sobre el estado o comportamiento de uno o varios atributos del sistema considerado, soportando los procesos de toma de decisiones.

Finalmente, como se ilustra a continuación en la (Figura 15), los indicadores del modelo DPEIR permiten analizar los procesos en un sistema de abastecimiento, ya que estos se obtienen a partir la observación de los subsistemas y las relaciones que ocurren entre ellos como determinantes de su estado y dinámica; de igual forma, por medio de la comprensión combinada se pueden identificar las interacciones que se dan entre los indicadores y sus tipologías conforme se analizan.

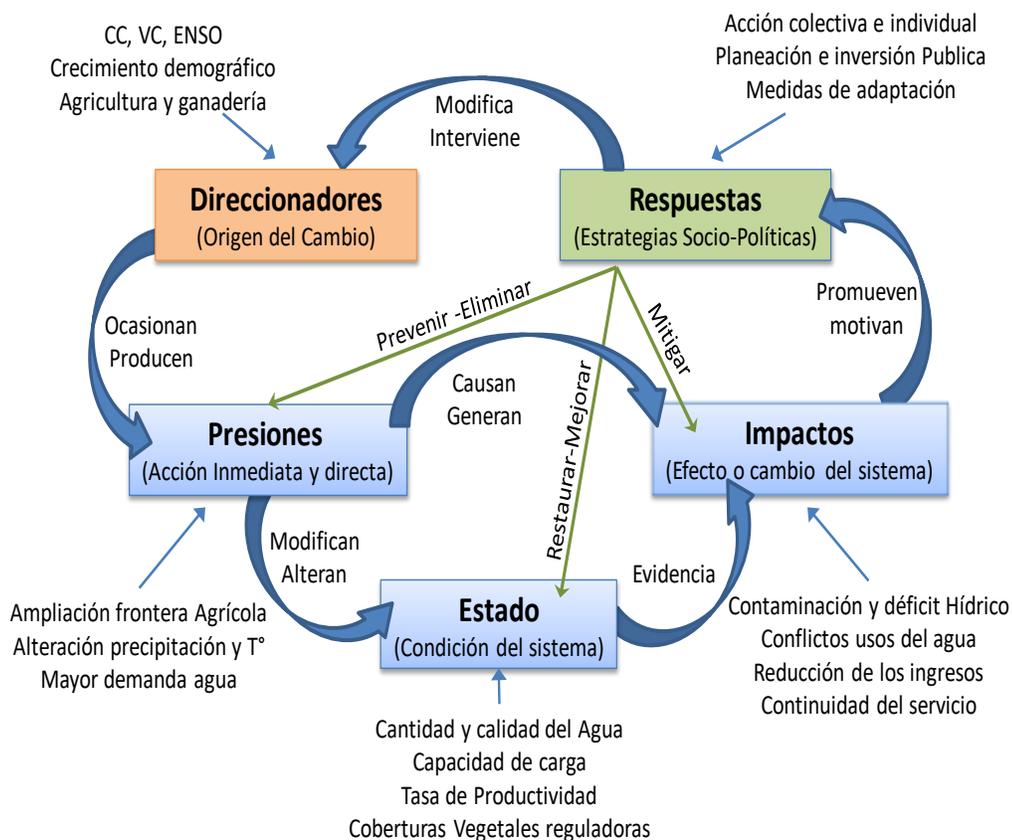


Figura 15. Modelo DPEIR para el sistema de abastecimiento de agua (Martinez, 2017)

Paso 3: Asignación de dimensiones y categorías acorde con la pertinencia de cada subsistema

Se retomó el ejercicio de batería de indicadores y dimensiones propuesto por el proyecto AQUARISC, los cuales se validaron en campo. Para realizar el análisis de vulnerabilidad se escogieron 36 indicadores, que se encuentran distribuidos en las

dimensiones, Biofísica (B), Económico-Productiva (E), Político-Institucional (PI), y Socio-Cultural (SC).

En la estimación de la vulnerabilidad es necesaria la organización de las métricas mediante una estructura causal de subsistemas (Fuente, Prestador y Usuario) dimensiones e indicadores a emplear en el sistema integral de abastecimiento de agua (Figura 16).



Figura 16 Dimensiones consideradas para el análisis de la Vulnerabilidad en los subsistemas Fuente, Prestador y Usuarios

Paso 4: Configuración de la batería de indicadores

La Identificación y validación de la batería de indicadores se hace en cinco momentos: *i)* revisión y antecedentes, *ii)* componentes del sistema, *iii)* análisis de sistema, *iv)* trabajo con director, codirector, y *v)* trabajo de validación.

Después de los pasos descritos anteriormente, se obtiene la batería de indicadores final para el cálculo de la vulnerabilidad para cada subsistema: Fuente (Tabla 3), Prestador (Tabla 4) y Usuarios (Tabla 5).

Cada indicador tiene su respectiva ficha metodológica que contiene su descripción, importancia en el cálculo de vulnerabilidad, ecuación empleada para su análisis, fuente de información, entre otras consideraciones (Anexo D, Anexo E, Anexo F). Es importante hacer la precisión de que existen indicadores de sensibilidad que se manifiestan de forma inversa, donde el valor inicial que va de 0 a 1 donde la métrica tiene un valor positivo (+) cuando se acerca a uno y al estar en la categoría de sensibilidad los valores “buenos” deben estar cerca de 0, es decir, que brindan menor sensibilidad; tal es el caso del índice de calidad de agua en la Fuente que va de 0 a 1 donde la medida que se acerca a 1 es mejor para el sistema, sin embargo, su contribución a la sensibilidad es inversa debido a que en la medida que es mejor la calidad del agua el sistema tiene menor sensibilidad (para manejar dicho comportamiento dentro de la matriz de los datos de entrada se efectuó la operación $1-X$, donde X es el valor del indicador).

Tabla 3. Indicadores para el subsistema Fuente

Indicador	Componente de la Vulnerabilidad	DPEIR
Áreas Productivas en rondas hídricas	Sensibilidad	Presión
Susceptibilidad a la Erosión	Sensibilidad	Estado
Índice de Calidad del Agua (ICA)	Sensibilidad	Estado
Tasa de alfabetismo habitantes presentes en el subsistema Fuente	Sensibilidad	Presión
Densidad poblacional	Sensibilidad	Direccionador
Índice de productividad	Sensibilidad	Presión
Percepción cambio climático	Sensibilidad	Direccionador
Coberturas vegetales reguladoras del ciclo hidrológico	Sensibilidad	Presión
Frecuencia de uso medidas de prevención de enfermedades por algún método de desinfección	Capacidad de adaptación	Respuesta
Prácticas productivas sostenibles	Capacidad de adaptación	Respuesta
Uso eficiente del agua	Capacidad de adaptación	Respuesta

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Indicadores para el subsistema Prestador

Indicador	Componente de la Vulnerabilidad	DPEIR
Alternativas de captación con conexión y capacidad	Capacidad de adaptación	Respuesta
Instrumentos de gestión (planificación, control de calidad, planes operativos, etc.)	Capacidad de adaptación	Respuesta
Densidad en la articulación de actores	Capacidad de adaptación	Respuesta
Inversión en capacitaciones (educación ambiental, gestión hídrica, etc.)	Capacidad de adaptación	Respuesta
Inversión en infraestructura y tecnologías (incluye la inversión realizada en mantenimiento y reparaciones para la prestación del servicio)	Capacidad de adaptación	Respuesta
Eficiencia en la ejecución presupuestal	Capacidad de adaptación	Estado
Operarios de planta certificados en competencias laborales	Capacidad de adaptación	Estado
Percepción de pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento (%)	Sensibilidad	Direccionador
Percepción del estado de la infraestructura del acueducto por tramos (%)	Sensibilidad	Estado
Susceptibilidad a la erosión	Sensibilidad	Direccionador
Continuidad del servicio en época invierno	Sensibilidad	Impacto
Continuidad del servicio en época verano	Sensibilidad	Impacto
Cobertura del servicio en la zona urbana	Sensibilidad	Estado
Eficiencia de recaudo	Sensibilidad	Estado
Número de peticiones, quejas y reclamos (PQR) por entidad Prestadora (anual)	Sensibilidad	Impacto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Indicadores para el subsistema usuario

Indicador	Componente de la Vulnerabilidad	DPEIR
Densidad en la articulación de actores	Capacidad de adaptación	Respuesta
Existencia de estrategias de uso eficiente y ahorro del agua en las instituciones públicas (Programas o similares).	Capacidad de adaptación	Respuesta
Percepción sobre cambio climático	Sensibilidad	Estado
Reconocimiento del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano por parte del usuario	Sensibilidad	Estado
Percepción de continuidad del servicio de agua para consumo humano por parte de los usuarios	Sensibilidad	Estado
Satisfacción del usuario (%)	Sensibilidad	Impacto
Prácticas sanitarias	Capacidad de adaptación	Respuesta
Uso eficiente del agua en hogares	Capacidad de adaptación	Respuesta
Tasa de alfabetismo	Capacidad de adaptación	Estado
Capacidad de pago	Sensibilidad	Estado
Ingresos de los usuarios (promedio mensual)	Sensibilidad	Direccionador

Fuente: Elaboración propia.

Estandarización de los indicadores

Después de seleccionar los indicadores en función de su papel en la determinación de la vulnerabilidad, es indispensable tener en cuenta que cada una de las variables e indicadores se representan en unidades y rangos de valor diferentes, por lo cual es necesario llevar a cabo un procedimiento de normalización de los valores para garantizar que sean comparables; dicho proceso de normalizar, se realiza organizando los datos de indicadores en un rango entre 0 y 1, donde 0 representa el valor más bajo y 1 el valor más alto. Buscando que tengan los mismos

rangos de variación y escala de agregación. En referentes de vulnerabilidad, se registra la normalización [0,1] como la más empleada (Wang, 2008). Se emplea la fórmula (6).

$$VE = \frac{(X - Min)}{Max - Min} \quad (6)$$

Donde “VE” es el valor normalizado, “Max” son los valores máximos y “Min” son los valores mínimos de cada indicador, y “X” es cada uno de los valores del indicador, la estandarización se efectúa al momento que ingresa cada valor del indicador en el cálculo, así como en el valor final de vulnerabilidad para mantener un rango de interpretación entre 0 y 1.

Criterios para la aplicación el análisis de la información

Los datos de los indicadores en los tres subsistemas (Fuente, Prestador y Usuarios) fueron recopilados por medio de la aplicación de encuestas analíticas, para cada uno de ellos se empleó opciones de respuesta categorizadas agrupadas de la siguiente manera: *subsistema Fuente*: contiene siete sesiones las cuales consideran percepción del cambio climático, acciones de adaptación al cambio climático, medidas de prevención de enfermedades relacionadas con la calidad y continuidades del agua en los hogares, uso eficiente del agua y empleo de prácticas productivas sostenibles (Anexo A); *subsistema Prestador*: está compuesta por cinco sesiones: operación, económica, socio cultural y administrativa, (hay que tener en cuenta que su aplicación es única pues se evaluó la empresa prestadora del servicio de acueducto Aires del Campo (Anexo B); y para el *subsistema Usuarios* se trabajó en cinco secciones que tienen en cuenta la percepción, aspectos de salud, ingresos y costos del servicio recibido, prácticas y hábitos (Anexo C). En términos del tamaño de la muestra para el sistema

de abastecimiento Aires del Campo se empleó un intervalo de confianza del 95%, para cada subsistema descrito.

Conformación del Tamaño de la Muestra

Para el desarrollo del trabajo se tienen en cuenta estos términos clave para calcular el tamaño de la muestra estadística y darle contexto (Vargas, 2007)

Tamaño de la población: Se refiere a la cantidad total de personas en el grupo a trabajar. Para este caso se toma una muestra aleatoria de familias de la vereda Aires del Campo, donde el tamaño de la población es aproximadamente de 120 familias, lo propio se realizó con el subsistema Fuente donde se toma un área de influencia aguas arriba de la bocatoma del acueducto donde se estima habitan 60 familias.

Margen de error: Entre más pequeño sea el margen de error, más cerca se está de tener la respuesta correcta con un determinado nivel de confianza.

Nivel de confianza del muestreo: En términos de porcentaje, que permite identificar cuánta confianza se puede obtener en la población seleccionada en un rango., para este caso el nivel de confianza del 95 % significa que se puede tener una seguridad del 95 %.

Para calcular el tamaño de la muestra se empleó la fórmula (7)

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{z^2 xp(1-p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 xp(1-p)}{e^2 N}} \quad (7)$$

Donde N = tamaño de la población, e = margen de error (porcentaje expresado con decimales), z = puntuación. La puntuación z es la cantidad de desviaciones estándar que una

proporción determinada se aleja de la media. Para el caso planteado en el trabajo esta corresponde (con un nivel de confianza deseado de 95%) la puntuación z es de 1,96.

Por regla general se dice que a mayor el tamaño de la muestra, se tendrá más significancia estadística, lo cual quiere decir que hay menos probabilidades de que los resultados sean una coincidencia, sin embargo, el muestreo puede brindar respuestas valiosas aún sin tener un tamaño de muestra que represente a la población general. En este caso, la información que brindan los usuarios, independientemente de si se tiene un tamaño de muestra estadísticamente significativo o no, brinda una perspectiva valiosa sobre lo que se planteó en las encuestas.

Para aplicar la encuesta en los sitios. Para la aplicación de las encuestas descritas se tuvieron en cuenta los criterios que limitaban o disponían el acceso al territorio, en el entendido que se realizaron acercamientos con los líderes del sector, su información era clave para la realización del levantamiento de la información, pues de esto dependía el cumplimiento de la meta establecida en el intervalo de confianza propuesto. Los criterios son:

Accesibilidad factible es llegar a cubrir la totalidad de la muestra

Seguridad: Condiciones de orden público, u otras que condicionaran hacer el trabajo

Disponibilidad de recursos: Una limitante para acceder a la información era la capacidad de gestionar la logística necesaria para lograr el levantamiento de la información

En los lugares a aplicar la encuesta. Para los subsistemas Fuente y Prestador se tuvo en cuenta lo siguiente.

- Un suscriptor o usuario (solo para los usuarios del acueducto)
- Ser mayor de edad: Tener cédula de ciudadanía.

- Responsable del hogar: Persona que se encuentra a cargo de las obligaciones del hogar (papá, mamá, abuela, abuela/ otro) y conoce sobre el manejo del agua en su casa.
- Disponibilidad e interés para diligenciar la encuesta.
- La persona no debe presentar una limitación mental o de aprendizaje.

Para el subsistema Usuarios, a partir de los talleres o según el Informante clave se estimó que habitan 120 familias en la vereda, de esta manera 58 familias corresponden al tamaño de la muestra (95% y ME 5%), de las cuales se logra realizar 44 encuestas. Se excluyeron a las personas que no cumplían con los criterios.

Para el subsistema Fuente, se tuvo en cuenta a la población que habita en las inmediaciones aguas arriba de la bocatoma del acueducto, según el informante clave se identificaron aproximadamente 60 familias; el tamaño de la muestra fue de 53 usuarios (95% y ME 5%), de las cuales se lograron realizar 24 encuestas.

Como se explicó al inicio para el subsistema Prestador, solo se le aplicó la encuesta a la empresa prestadora del servicio de acueducto Aires del Campo.

Paso 5: Fórmulas para el análisis

La vulnerabilidad se estima por cada uno de los subsistemas y de manera global. Para esto se emplea la fórmula

(8); en donde la vulnerabilidad está en función de la sensibilidad (S) y la capacidad de adaptación (Ca); empleando la mediana como medida de tendencia central.

$$RSA = \left\{ \begin{array}{l} RFA = \Delta A(E) * \frac{S}{Ca} \\ + \\ REP = \Delta A(E) * \frac{S}{Ca} \\ + \\ RU = \Delta A(E) * S/Ca \end{array} \right\} \quad (8)$$

Para la vulnerabilidad y sus elementos constitutivos (sensibilidad, capacidad de adaptación) los valores de interpretación están entre 0 y 1; en cinco niveles (muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto) en donde los valores se interpretan de la siguiente manera:

La calificación de la vulnerabilidad puede tener una máxima de 1, de esta manera los valores se expresan entonces - $1 \geq V \geq 0$, sin embargo, para hacer mas practica su interpretación se hizo en una escala de 0 a 1, donde las variables de la fórmula de vulnerabilidad tenían valores entre 0 y el 1 donde cero se asocio a condiciones de baja sensibilidad y los valores cercanos a 1 a alta sensibilidad, en este sentido la vulnerabilidad resultó como se muestra en la Tabla 6

Tabla 6. Rangos de interpretación de la Vulnerabilidad

	Sensibilidad	Capacidad de Adaptación	Vulnerabilidad
Muy bajo	0,10 - 0,36	0,10 - 0,36	0,10 - 0,21
Bajo	0,37 - 0,58	0,37 - 0,58	0,22 - 0,28
Medio	0,59 - 0,75	0,59 - 0,75	0,29 - 0,40
Alto	0,76 - 0,89	0,76 - 0,89	0,41 - 0,61
Muy alto	0,90 - 1,00	0,90 - 1,00	0,62 - >1,00

Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: Estimación de la vulnerabilidad

Para la estimación de la vulnerabilidad de los subsistemas se empleó un cálculo matricial y su respectiva interpretación y análisis detallado.

Aspectos a tener en cuenta en la interpretación de la vulnerabilidad

Como ya se mencionó la vulnerabilidad es el resultado de la relación inversa entre la sensibilidad y capacidad de adaptación, en caso de que el numerador y denominador sean cercanos o iguales, la vulnerabilidad puede acercarse fácilmente al valor de 1, por lo tanto, debe considerarse el valor final pero especialmente en la interacción sensibilidad y capacidad de adaptación en el sistema, así como los principales aportes en sus indicadores constitutivos.

3.4 Vulnerabilidad del Sistema de Abastecimiento Aires del Campo, Timbío

El sistema de abastecimiento de Aires del Campo tiene una vulnerabilidad baja (0,33) ya que la sensibilidad del sistema es baja (0,21) y la capacidad de adaptación es alta (0,63) como se ve en la Tabla 7, sin embargo, es importante detallar el resultado en los subsistemas revisando cada uno de los planteamientos en los indicadores que dan origen al resultado de las vulnerabilidades particulares de Fuente, Prestador y Usuarios (Tabla 8) para hacer un mejor análisis del valor total de la vulnerabilidad.

Tabla 7. Cálculo de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento Aires del Campo-Timbío

Sensibilidad	Capacidad de adaptación	Vulnerabilidad	Categoría vulnerabilidad
0,21	0,63	0,33	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Cálculo por subsistema (Fuente, Prestador, Usuarios) del sistema de abastecimiento Aires del Campo-Timbío

Media de la Sensibilidad	Media de la Capacidad de adaptación	Vulnerabilidad subsistema Fuente	Categoría de la Vulnerabilidad
0,17	0,87	0,19	Muy bajo
Media de la	Media de la Capacidad de	Vulnerabilidad subsistema	Categoría de la

Sensibilidad	adaptación	Prestador	Vulnerabilidad
0,205	0,33	0,62	Alto
Media de la Sensibilidad	Media de la Capacidad de adaptación	Vulnerabilidad subsistema Usuarios	Categoría de la Vulnerabilidad
0,25	0,685	0,36	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad subsistema Fuente

En el subsistema Fuente, se presenta una sensibilidad muy baja (0,17) (Tabla 8), atribuida principalmente a los valores muy bajos en áreas productivas en rondas hídricas (0,09), es decir predominan las coberturas vegetales naturales, la tasa de alfabetismo es baja (0,37), hay una baja densidad de personas en la microcuenca (0,13), existen en baja proporción de coberturas reguladoras del ciclo hidrológico como páramos y bosque de alta montaña (0,17); por otro lado, existen dos aspectos que generan una tendencia media en dicha sensibilidad: los procesos erosivos en la Fuente abastecedora (0,68) y una dinámica productiva muy baja en el sector (0,16). Ver Figura 17. Cabe resaltar que los cultivos predominantes en la zona han propiciado que las coberturas reguladoras se disminuyan, el avance en la frontera agrícola y pecuaria está afectando a la disponibilidad de agua, las cifras que muestran los indicadores son de un momento en el tiempo como se advierte, sin embargo, deben ser tenidos en cuenta al momento de gestionar acciones en la microcuenca, pues las condiciones particulares en el socioecosistema hacen que la magnitud de los impactos sea muy significativa y por ende el deterioro progresivo de estos biomas, traerá consecuencias en la disponibilidad de agua.

La capacidad adaptativa de la Fuente abastecedora es muy alta (0,87) y el mayor aporte de dicha capacidad está dada por las prácticas productivas sostenibles (0,87), el uso

eficiente del agua (0,87) y la frecuencia en el uso de medidas de prevención de enfermedades por algún método de desinfección es baja (0,60). Ver Figura 18.

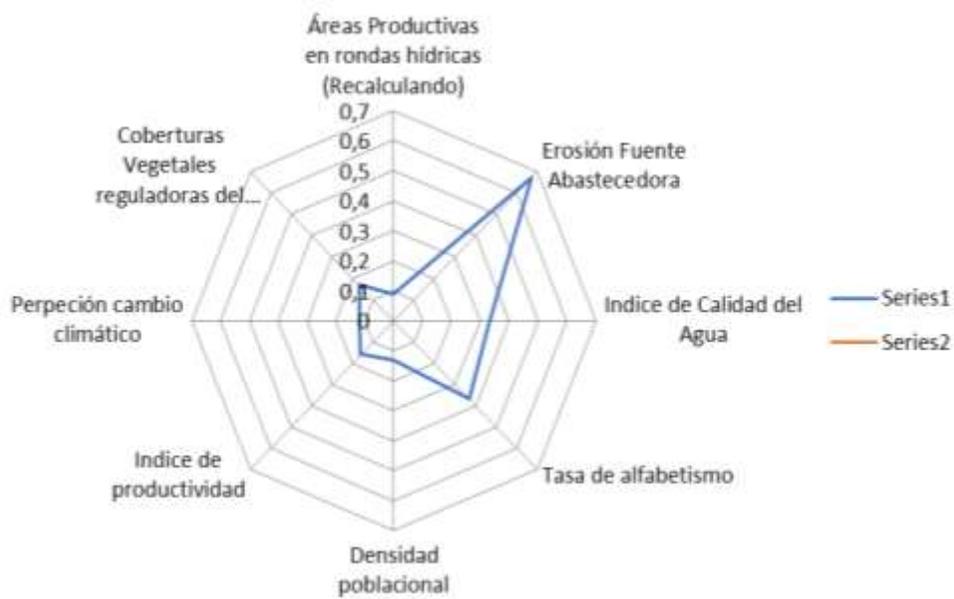


Figura 17. Sensibilidad del subsistema Fuente-Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío

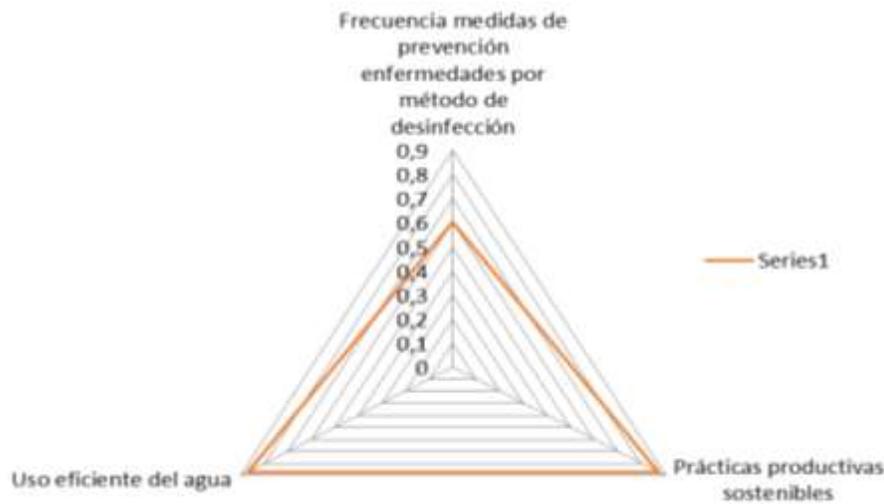


Figura 18. Capacidad de adaptación del subsistema Fuente - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío

Vulnerabilidad subsistema Prestador

En el subsistema Prestador se tiene una vulnerabilidad Alta (0,62), lo cual evidencia la situación de la empresa, es importante apreciar los detalles de este cálculo para comprender mejor este resultado (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 8. Cálculo por subsistema (Fuente, Prestador, Usuarios) del sistema de abastecimiento Aires del Campo-Timbío), se aprecia una sensibilidad muy baja (Figura 19) (0,2) atribuida principalmente a valores muy bajos en indicadores del subsistema Prestador como: Continuidad del servicio en época verano en invierno (0,08) esto indica que se cuenta con la cantidad de agua suficiente para brindar el servicio durante las dos épocas, siendo un diagnóstico hasta el 2019; sin desconocer que la variabilidad del clima y la afectación en las coberturas vegetales están afectando el caudal de la Fuente; eficiencia de recaudo (0,10) la empresa recauda los pagos por la prestación del servicio de agua a la mayoría los usuarios; la

susceptibilidad a la erosión (0,16) muestra que el terreno de la conducción de la tubería del acueducto es aceptablemente estable; por otro lado, existe un aspecto que genera una tendencia media en dicha sensibilidad y es el número de PQR por entidad Prestadora (0,50) esto debido a que la mitad de las peticiones, quejas y reclamos que llegan a la empresa corresponden al servicio de acueducto, demostrando que la inconformidad por parte del usuario está dividida, esto se da por los racionamientos y cortes del servicio de manera regular que hace el Prestador para mantener la buena calidad del agua.

La capacidad adaptativa de la empresa Prestadora del servicio de agua es media baja (0,33), atribuida principalmente a que tienen Instrumentos de gestión (planificación, control de calidad, planes operativos, etc.) de 0,75; en cuanto a la eficiencia en la ejecución presupuestal (0,03) es muy baja debido principalmente a las dificultades operativas, que desde la misma legislación para este tipo de acueductos rurales, les dificulta acceder a los recursos y limita su operación; operarios de planta certificados en competencias laborales (0,33) es importante resaltar el esfuerzo que desde la dirección de esta empresa se gestiona para lograr acceder a conocimientos técnicos y por ende prestar un mejor servicio, en este sentido, resaltar las acciones para capacitaciones, siendo el indicador Inversión en capacitaciones (educación ambiental, gestión hídrica, etc.) calificado con (0,6) ubicado en medio, incide positivamente en la capacidad de adaptación. La nula inversión en infraestructura y tecnologías que incluye la inversión realizada en mantenimiento y reparaciones para la prestación del servicio reduce la capacidad de adaptación; no cuenta con alternativas de captación con conexión y capacidad lo que indica que el Prestador no cuenta con una Fuente alterna de la cual pueda o podría captar agua para la prestación del servicio. Un esquema de la distribución de los indicadores soporta

el planteamiento propuesto, el cual se puede apreciar en la (Figura 20), en esta se evidencia en la distribución de los indicadores de sensibilidad y capacidad adaptativa respectivamente.

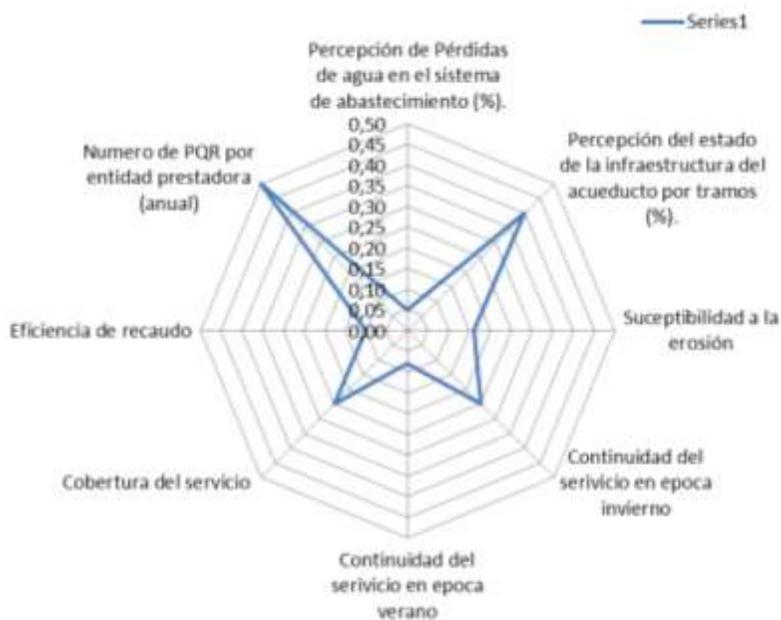


Figura 19. Sensibilidad del subsistema Prestador - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío

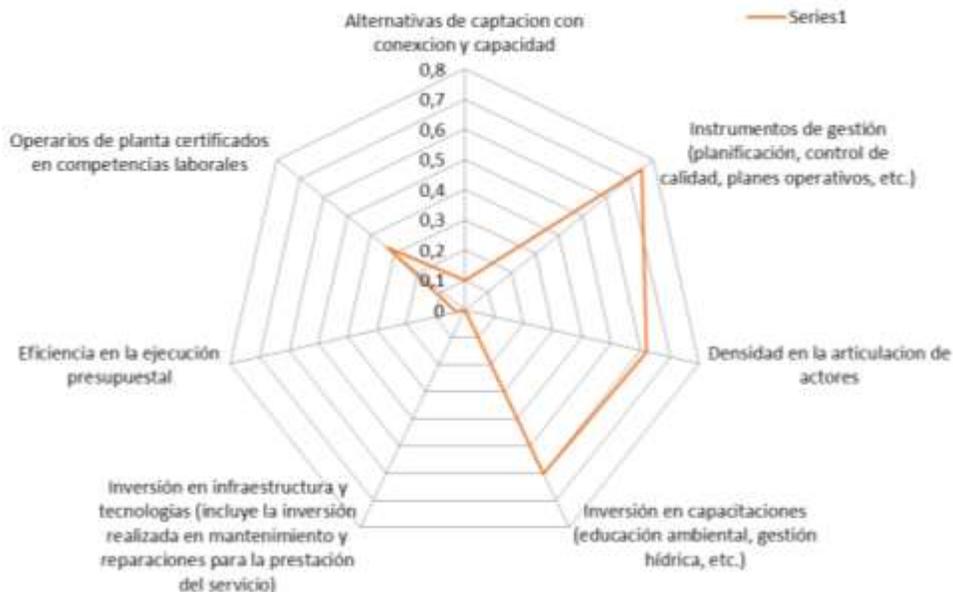


Figura 20. Capacidad de adaptación del subsistema Prestador - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío

Vulnerabilidad subsistema Usuarios

Para los usuarios del acueducto Aires del Campo, se obtiene una vulnerabilidad de 0,36 (Tabla 8) lo que indica una sensibilidad baja (Figura 21), atribuida principalmente a valores bajos en indicadores como percepción del nivel de información sobre cambio climático (0,52), es decir, que en la comunidad beneficiaria del acueducto Aires del Campo los usuarios están informados acerca de este tema por medios de radio, internet y prensa; además, los habitantes lo perciben en la variación del clima. La capacidad de pago (0,2) muestra como la población cuenta con recursos económicos para cancelar oportunamente sus servicios, de igual manera es importante mencionar que el costo del servicio de acueducto es bajo. La población analizada del acueducto Aires del Campo cuenta con tasa de alfabetismo (0,37) lo que evidencia medio nivel de escolaridad, donde se encuentra una población con estudio de

nivel básica, media y tecnológica. Por otra parte, el reconocimiento del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano por parte del usuario es (0,25) lo que indica que es conocedor del Acueducto Aires del Campo.

En cuanto a la capacidad adaptativa del agua para consumo humano en Aires del Campo es alta (0,68) señalando principalmente las buenas prácticas sanitarias (0,9). Es importante mencionar que al realizar el levantamiento de información en campo, la comunidad manifestó que tiene buenas prácticas y hábitos de higiene; la información levantada evidencia que se está trabajando en pro de la existencia de estrategias de uso eficiente y ahorro del agua dirigidas a los usuarios con un valor de (0,5) esto demuestra que se está avanzando positivamente en la concientización de la comunidad; uso eficiente de agua en hogares es alto (0,75), densidad en la articulación de actores (0,62) se evidencia que es baja la participación (Figura 21). Se resalta que el acueducto Aires del Campo solo distribuye agua cruda, es decir, solo cuenta con infraestructura para tratamiento primario por lo cual no se calcula el índice de calidad de agua potable IRCA¹², esta situación generó una modificación a la metodología planteada por AQUARISC ya que su alcance era en cabeceras urbanas donde los sistemas de distribución de agua deben tener potabilización mientras que en zona rural, en la mayoría de los casos, no cuentan con PTAP. La calificación de la vulnerabilidad para el subsistema usuarios es alta (0,63), situación que probablemente sea igual en todos los sistemas en zona rural ya que el agua es distribuida para usos múltiples (agua para consumo humano y agua para actividades agropecuarias sin contar con potabilización). Ver Figura 22.

¹² El IRCA es el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, que comenzó a regir a partir de la resolución 2115 de 2007, del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, para medir la calidad del agua que producen las Plantas de Tratamiento de Agua (MAVDT, 2019).

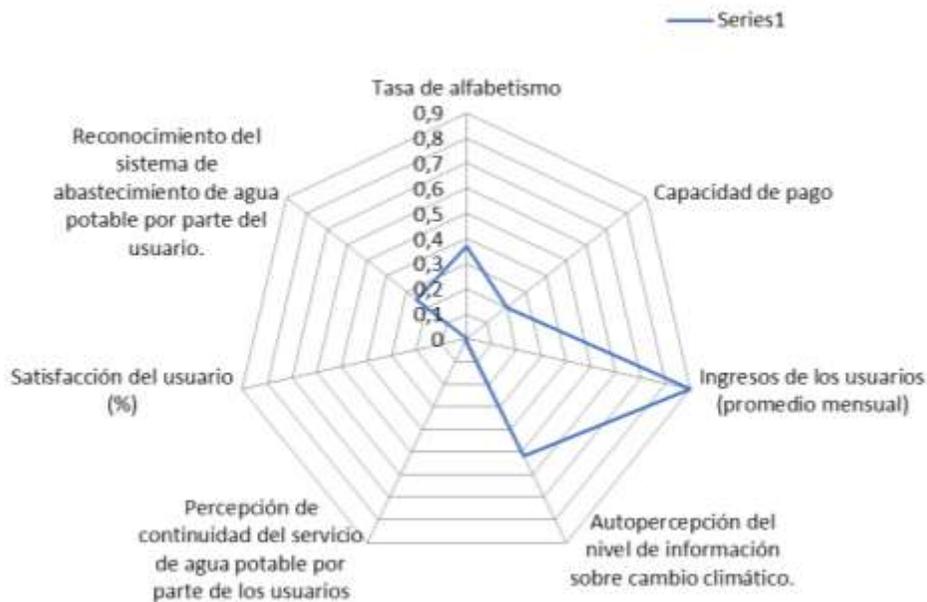


Figura 21. Sensibilidad del subsistema Usuarios - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío

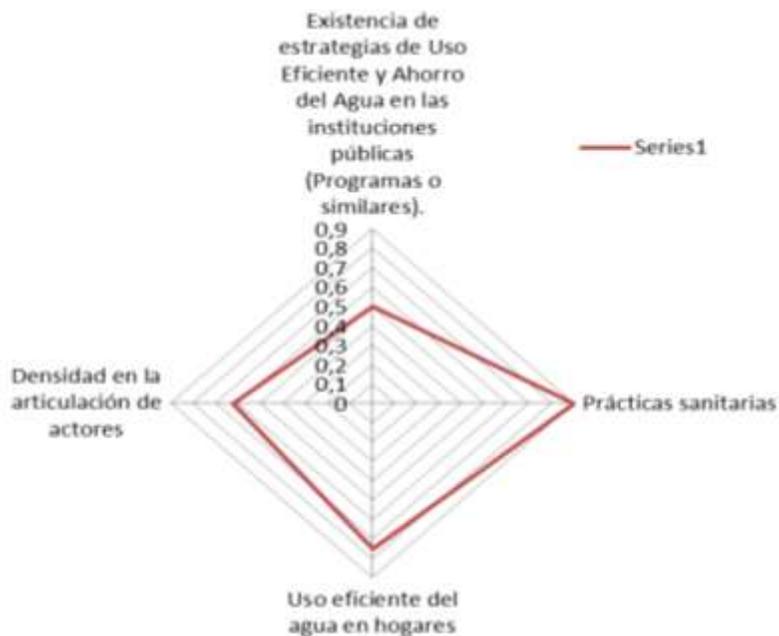


Figura 22. Capacidad de adaptación subsistema Usuarios - Acueducto Rural Aires del Campo, Timbío

3.4 Propuesta de Lineamientos para la Gestión Integral con Enfoque Adaptativo de la Microcuenca Abastecedora Río Molino - municipios de Timbío y Sotará, Cauca

La velocidad de reacción de las comunidades frente al cambio es una de las condiciones particulares de los territorios, esto puede determinar su capacidad de adaptación (Denevan, 1983 citado por Joaqui 2017); también tiene que ver con la sostenibilidad, ya que ambos están estrechamente vinculados (Ripken, 2009) siendo la sostenibilidad un proceso dinámico que requiere capacidad de adaptación para las sociedades (Folke et al., 2002; Gunderson et al., 2017) y la capacidad adaptativa, la robustez del sistema para los cambios en la resiliencia. También como lo manifiestan Carpenter et al. (2001), es un componente de la resiliencia en el que emerge el aprendizaje del comportamiento del sistema en respuesta a la perturbación, mientras que Walker et al. (2004) definen la adaptabilidad como la capacidad colectiva de los actores humanos en un sistema para manejar la resiliencia; en este sentido, la capacidad de adaptación se analiza a la luz de dos aspectos fundamentales: la capacidad socioecosistémica y la capacidad institucional.

Teniendo en cuenta lo anterior se hizo el análisis por subsistema: Fuente (Tabla 9, Tabla 10), Prestador (Tabla 11, Tabla 12) y Usuarios (Tabla 13, Tabla 14), para cada uno de ellos se detalla, en los indicadores de sensibilidad y capacidad de adaptación, las estrategias de gestión para las métricas (resultado para cada indicador) que aportan de forma positiva (+) y negativa (-) respectivamente. Se resalta que es necesaria la realización de acciones conjuntas y concertadas con las comunidades y las instituciones para mitigar los impactos que las actividades socioeconómicas y la variabilidad climática han dejado en el territorio.

Tabla 9. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Fuente - sensibilidad

Indicador	Aporte (-)	Valor Métrica	Estrategia de Gestión
Áreas Productivas en rondas hídricas	0,09	9,0	<p>Fomentar y fortalecer el cuidado de las rondas hídricas.</p> <p>Aumentar las zonas de aislamiento y protección, ante el inminente avance de la frontera agrícola.</p> <p>Buscar alternativas que involucren innovaciones sociales como estrategia de optimización de sistemas productivos mediante la implementación de ganadería eficiente intensiva.</p> <p>Construir e implementar alternativas de planeación para el aprovechamiento sostenible del suelo en sistemas agrícolas, pecuarios y forestales considerando la variabilidad climática.</p>
Coberturas vegetales reguladoras	0,17	0,83	<p>Fortalecer y empoderar a la comunidad en temas ambientales, realizar acciones para la conservación y/o ampliación de las zonas de protección de los nacimientos de quebradas que tributan al río Molino y que actualmente se usan como bebederos de ganado vacuno.</p> <p>Realizar unas presas pequeñas con piedras de la zona, para aumentar el nivel de las zonas inundadas, y en consecuencia facilitar la ampliación de la zona del humedal.</p> <p>Procurar una franja de vegetación o buffer strip de 15 m o más de ancho, con estructura vegetal propia de la zona. Este debe aislarse de la ganadería con una cerca. Diseñar un sistema sencillo de canales a fin de favorecer la distribución del agua que llega de la quebrada hacia todo el humedal.</p> <p>Se deben tomar acciones para detener la escorrentía superficial, y de esta manera mejorar la infiltración natural, reducir la erosión y la generación de sedimentos. Entre las principales acciones, se destaca:</p> <p>Plantación de árboles y arbustos en zonas de claros de bosque.</p> <p>Extensión de la zona de bosque ripario.</p> <p>Proyectos PSA. Fomentar el cuidado de las zonas verdes, promover el cuidado de las rondas hídricas.</p>
Densidad poblacional	0,13	0,13	<p>Planeación territorial acorde con los usos y costumbres del agua y el suelo por parte de los habitantes.</p> <p>Investigar nivel de riesgo al ocupar la zona cercana a la Fuente abastecedora</p>

Tabla 10. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Fuente - capacidad de adaptación

Indicador	Aporte (+)	Valor Métrica	Estrategia de Gestión
Frecuencia de uso de medidas de prevención de enfermedades por algún método de desinfección	0,6	63,2	Fomentar campañas de educación y comunicación para generar conocimiento sobre las prácticas para la desinfección, como acción inmediata pues el agua disponible para consumo en la zona rural no cuenta con tratamiento de potabilización y es indispensable el conocimiento de métodos alternativos de desinfección y así reducir la incidencia de enfermedades vehiculizadas por el agua.
Uso eficiente agua	0,87	60,0	Implementar talleres sobre usos múltiples y cuidado del agua en la zona rural que permita el conocimiento de métodos de optimización y reutilización de agua para las diferentes actividades, también la recolección de aguas lluvias y el establecimiento de sistemas de almacenamiento comunitario de agua para riego.
Prácticas productivas	0,58	58,4	Promover y apoyar las estrategias de producción sostenible con soberanía alimentaria y comercialización de excedentes generados a través de buenas prácticas de producción. Dado que es una zona con alta incidencia de ganadería se propone realizar silvopastoril. Proyectos de ganadería regenerativa, que llega a un rendimiento de 3 animales / Ha, lo que se busca es minimizar la ocupación del suelo en unidad de tiempo, implementando un sistema de pastoreo de Ultra – Alta – Densidad (UAD). El método busca el mejoramiento del suelo por la incorporación nutricional y microbiológica a partir de estiércol y orinas. De igual forma, este sistema implica la proliferación de diferentes especies vegetales de la región, no solamente de las pasturas, sino también de arbustos, árboles y arvenses que aporten (Gobernación del Cauca, 2019)

Tabla 11. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Prestador - sensibilidad

Indicador	Aporte (+)	Valor Métrica	Estrategia de Gestión
N° PQRS	0,50	50,4	<p>Buscar canales de comunicación para mantener a los usuarios informados, emisoras comunitarias, vos a vos, boletines periódicos con información de importancia, reuniones con líderes de las diferentes zonas.</p> <p>Brindar buena atención a los usuarios, Dar oportuna respuesta, buscar estrategias de solución a sus PQR, Brindar acompañamiento al usuario hasta el final.</p>
Percepción del estado de la infraestructura del acueducto	0,4	0,6	Gestionar proyectos de renovación e implementación de tecnología para la construcción de una PTAP, con un respectivo plan de mantenimiento y control.
	Aporte (-)		
Continuidad del servicio en época invierno	0,25	0,75	<p>Gestionar proyecto para el mejoramiento de redes, cambio de válvulas, para mejorar la prestación del servicio.</p> <p>Levantamiento de catastro de redes.</p> <p>Implementar red de modelación. Garantizar la prestación del servicio de agua para consumo humano en las veredas más lejanas.</p>
Continuidad del servicio en época verano	0,08	1,0	<p>Gestionar proyecto para el mejoramiento de redes, cambio de válvulas, para mejorar la prestación del Servicio.</p> <p>Levantamiento de catastro de redes.</p> <p>Implementar red de modelación.</p> <p>Garantizar la prestación del servicio de agua para consumo humano.</p> <p>Mantener control en la planta de los parametros de calidad, gestionar nuevos equipos de laboratorio.</p> <p>Gestionar recursos para la implementación de tecnología en el sistema para el mejoramiento de la potabilización.</p>

Tabla 12. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema Prestador - capacidad de adaptación

Capacidad Adaptativa	Aporte (+)	Valor Métrica	Estrategia de Gestión
Eficiencia en la ejecución presupuestal	0,03	1,0	Implementar estrategias de planificación operativa y financiera a fin de optimizar los recursos recaudados y gestionados, implementar sistemas de información de apoyo a la ejecución financiera, se puede lograr haciendo convenios o con universidades para que se realicen estos desarrollos.
Instrumentos de gestión (planificación, control de calidad, planes operativos)	0,75	-	Realizar diagnóstico de prestación del servicio, con el apoyo de todos los funcionarios de la empresa. Hacer planificación, realizar bimestralmente evaluación del trabajo. Buscar estrategias para mejorar la prestación. Realizar sondeo de la prestación del servicio entre los usuarios.
Operarios de planta certificados en competencias laborales	0,75	-	Gestionar para los funcionarios de la empresa capacitaciones en competencias afines con el quehacer de la empresa, teniendo en cuenta que es un sistema rural, donde el agua no es tratada, las competencias deben enfocarse en esta particularidad, haciendo alianzas con el SENA, y uniéndose con los acueductos vecinos y así tener una población significativa para que esta institución los prepare y les ofrezca la posibilidad de certificación.

Tabla 13. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad para el subsistema usuarios - sensibilidad

Indicador	Aporte (+)	Valor Métrica	Estrategia de Gestión
Autopercepción del nivel de información sobre cambio climático.	0,52	0,48	Realizar campañas educativas entorno al ambiente, Gestionar ante instituciones. Brindar fortalecimiento ambiental para grupos organizados. Procurar en las instituciones educativas una cátedra de educación ambiental donde haya uno o varios módulos que tengan que ver con el sistema de abastecimiento de su vereda y las implicaciones del cambio climático en la disponibilidad de agua.
Capacidad de pago	0,2	0,80	Promover una cultura de pago, realizar campañas con la comunidad para que conozcan el sistema de abastecimiento, realizar campañas educativas, otorgar descuentos a usuarios morosos por ponerse al día, hacer sorteos entre los subscriptores cumplidos en su factura.
	Aporte (-)		
Percepción de continuidad del servicio de agua para consumo humano por parte de los usuarios	0,01	1,0	Realizar jornadas de concientización del buen uso y manejo del agua, esto previniendo el uso inadecuado del agua almacenada para su distribución en caso de que se presente alguna emergencia en la red de conducción que conlleve a la interrupción en la prestación del servicio de acueducto y/o racionamiento del agua.
Satisfacción del usuario	0,01	80	Realizar sondeo de satisfacción entre los usuarios mediante encuestas cortas en atención al usuario. Idear estrategias para dar solución a inquietudes de los usuarios, involucrar a los líderes y niños en campañas de reconocimiento del sistema.
Reconocimiento del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano	0,25	0,75	Realizar un festival del agua en torno al sistema de abastecimiento de agua. Realizar maqueta en la cual se explique el funcionamiento, actividades lúdicas que den a conocer el acueducto. Realizar programas de teatro, pintura, música, comparsas, que inviten a hacer uso eficiente del agua y las prácticas sanitarias.

Tabla 14. Lineamientos de gestión de la vulnerabilidad en el subsistema usuarios - Capacidad de adaptación

Indicador	Aporte (+)	Valor Métrica	Estrategia de Gestión
Prácticas sanitarias	0,99	5,0	<p>Junto con la Secretaría de Salud Municipal y Departamental gestionar campañas sobre prácticas sanitarias como medida de prevención de enfermedades vehiculizadas por el agua, se puede involucrar a las Universidades de la región, promover acciones como el lavado de manos.</p> <p>Realizar talleres del uso y cuidado del agua.</p> <p>Entregar a los participantes manual de uso adecuado del agua y buenas prácticas de higiene.</p>
Existencia de estrategias de uso eficiente y ahorro del agua	0,50	50,0	<p>Vincular a los usuarios en las campañas del uso eficiente del agua, mediante ferias, participación en medios de comunicación, perifoneo, recordando la importancia del uso eficiente y ahorro de agua.</p> <p>Elaboración de carteleras o afiches alusivos al ahorro y uso eficiente del agua.</p>
Uso eficiente en hogares	0,75	80,0	<p>Realizar una feria con tema central el sistema de abastecimiento del agua y uso eficiente del agua, realizar maqueta y explicar el funcionamiento del sistema a través de actividades lúdicas.</p> <p>Realizar programas de teatro que inviten ha hacer uso eficiente del agua y las prácticas sanitarias.</p> <p>Enseñar técnicas de reutilización de agua para las diferentes actividades de los hogares, hacer campañas con los niños de las escuelas sobre el ahorro del agua. Crear un programa radial con personajes que representen las realidades del sistema de abastecimiento y se den estrategias de ahorro y uso eficiente del agua.</p>
	Aporte (-)		
Densidad en la articulación de actores	0,62	62	<p>Fomentar espacios para la articulación de actores del acueducto Aires del Campo, en pro del ambiente, y fortalecimiento del sistema de abastecimiento de agua.</p>

CONCLUSIONES

La presente tesis ofrece una conceptualización acerca vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua en zona rural considerando las capacidades de adaptación, la resiliencia y transformabilidad, planteando una estratégica metodológica para el abordaje en dichos sistemas de abastecimiento; teniendo en cuenta la complejidad de los acueductos rurales, con enfoque sistémico.

El desarrollo de la tesis doctoral deja una revisión detallada de la literatura brindando aportes teóricos y conceptuales importantes para la gestión integral del recurso hídrico – GIRH asociada a la reducción de la vulnerabilidad en los sistemas de abastecimiento de agua. Los principios propuestos por la GIRH, llevan a considerar también que el vínculo entre la sociedad y la naturaleza nace por los servicios que ofrecen los ecosistemas, donde la relación esta mediada por los procesos de gestión resaltando la gobernanza, el aprendizaje local, la expresión de los saberes; la difusión de este relacionamiento se realiza a partir de las redes sociales y se fundamenta en la confianza para la gestión del sistema por parte de las instituciones y las comunidades.

Se presentan tres conceptos fundamentales que permiten complementar la GIRH, como planteamiento central que promueve convergencias múltiples desde el ámbito académico para fortalecer el abordaje sistémico requerido en el manejo del agua bajo la premisa de sostenibilidad, estos son: la gestión adaptativa, la resiliencia y la gobernanza.

Respecto a la vulnerabilidad de las microcuencas abastecedoras, la investigación brinda aspectos teóricos y conceptuales que fueron la base para el desarrollo del trabajo, siendo la

vulnerabilidad el estado de susceptibilidad al daño por exposición a tensiones asociadas con cambios ambientales y sociales y a su vez la falta de capacidad de adaptación.

La vulnerabilidad de microcuencas abastecedoras por la degradación de los servicios ecosistémicos aborda tres desafíos: a) establecer conceptualmente las diferencias entre amenaza, exposición y sensibilidad tanto del sistema ecológico como del social, b) considerar las características de los beneficiarios incluyendo aspectos como tipo de necesidad que se satisface, usos del recurso hídrico, disponibilidad de mecanismos y/o herramientas para el acceso, y c) percepción de los beneficiarios frente a los tensores.

En relación al abordaje metodológico de la investigación, en algunos aspectos refirió observación participante, se usaron técnicas mixtas (cuantitativas y cualitativas) incorporando información primaria y secundaria mediante el uso de indicadores (modelo DPEIR) del sistema de abastecimiento rural Aires del Campo; en este sentido el desarrollo del modelo de gestión se planteó mediante tres fases que contemplaron la identificación de los factores de vulnerabilidad, el análisis de vulnerabilidad y la propuesta de los lineamientos para la gestión integral de la vulnerabilidad con enfoque adaptativo en la microcuenca abastecedora.

La organización comunitaria, la participación, la autonomía y gobernanza determinan el funcionamiento del sistema, son las fuerzas motrices que impulsan el territorio, así mismo, se encuentran que las actividades económicas son las que permiten a las asociaciones comunales alcanzar el cumplimiento de los objetivos de gestión.

Identificar y caracterizar el servicio ecosistémico de abastecimiento de agua y regulación hídrica permite obtener una alternativa de gestión en términos de su función, que emerge de la relación sociedad-naturaleza y orienta hacia la conservación de sus valores intrínsecos; es así como la comunidad reconoce y percibe el deterioro de los servicios ambientales ocasionado

por factores globales como el cambio climático y factores locales como la deforestación y degradación de los ecosistemas por la expansión de la agricultura y la ganadería extensiva.

Estimar la vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua rural es complejo, aspectos como la diversidad del territorio y la percepción de la vulnerabilidad que responde a la complejidad del sistema; tal dificultad puede incrementarse cuando se evalúa de forma multidimensional en el contexto de fenómenos climáticos extremos, como fue el caso; sin embargo, el planteamiento de investigación mediante método mixto (cualitativo y cuantitativo) permitió el análisis por indicadores considerando una visión holística del territorio que involucra la interacción de los elementos biofísicos y los actores sociales.

El análisis realizado a partir del modelo de indicadores propuesto tuvo en cuenta la delimitación y alcance de los productos de la investigación y se desarrolló en tres momentos: búsqueda de información secundaria obtenida a través de bases de datos y documentos específicos, consulta de fuentes regionales mediante visita de campo, y consolidación sistematización de la información.

El uso del modelo DPEIR demuestra ser adecuado para este tipo de análisis debido a que permitió evaluar diferentes componentes del sistema, la accesibilidad para conseguir información y el potencial de comparación, para una aproximación al sistema de manera objetiva.

Para realizar el análisis de vulnerabilidad se escogieron 36 indicadores, que se encuentran distribuidos en cuatro dimensiones, biofísica (B), económica-productiva (E), político institucional (PI), y sociocultural (SC); para la estimación de la vulnerabilidad fue necesaria la organización de las métricas mediante una estructura causal donde 11 se encuentran en el subsistema Fuente abastecedora, 15 en Prestador 15 y 10 en Usuarios, en cada subsistema se reparten,

de acuerdo a su pertinencia, en sensibilidad y capacidad de adaptación y también de acuerdo a su correspondencia con el modelo de análisis (DPEIR).

Sobre el resultado del cálculo de vulnerabilidad se tiene que el sistema de abastecimiento de Aires del Campo tiene una vulnerabilidad baja (0,33) atribuida a una sensibilidad baja (0,21) y una capacidad adaptativa alta (0,63). Esta calificación no debe desviar la atención, pues pese a que el modelo empleado resultó de esta forma, se debe complementar el análisis con lo visto en el territorio y con la magnitud que significaría un impacto adverso en un sistema de abastecimiento rural como es el caso, en este sentido, lo que da cuenta es que la sumatoria de las vulnerabilidades de los subsistemas favorecieron su calificación, dado que el subsistema Fuente tiene una vulnerabilidad baja, que supera la del Prestador y la del subsistema Usuarios, un aspecto a seguir estudiando es la manera de ponderar y de ejecutar los algoritmos y el fortalecimiento de la batería de indicadores.

Haciendo un análisis por subsistemas, en la Fuente se tiene una vulnerabilidad de 0,19 que la ubica en la categoría de muy baja, donde las capacidades de adaptación son de 0,87 frente a una sensibilidad de 0,17, esto debido a las condiciones del ecosistema y de comunidades que le favorecen, sin embargo, las coberturas reguladores y aspectos como la erosión deben tenerse en cuenta en la sensibilidad de del territorio.

En caso de Prestador se tiene una vulnerabilidad alta (0,62) lo que evidencia una alta sensibilidad y una baja capacidad de adaptación, es importante que la empresa prestadora del servicio inicie las gestiones pertinentes a fin de mejorar sus capacidades, pero también involucrar a los usuarios frente al ahorro y uso eficiente del agua, como un sentido de corresponsabilidad, también es determinante tener en cuenta las actividades socio económicas que tienen lugar en el territorio.

Finalmente, en el subsistema usuario se tiene una vulnerabilidad baja (0,36) dado que se han identificados capacidades de adaptación significativas en el territorio además los procesos de asociatividad han podido sortear las situaciones generadas por la presencia de eventos extremos que han afectado al sistema de distribución; sin embargo, como es mencionado para el sistema Prestador, debe existir una articulación entre las acciones de los usuarios con el Prestador, propiciando de esta manera un aumento de las capacidades de adaptación.

En cuanto a los lineamientos para la gestión de la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento se debe trabajar en los siguientes aspectos: a) promover acciones dirigidas a disminuir los tensores en los tres subsistemas Fuente, Prestador y Usuarios, con el propósito de gestionar la vulnerabilidad, b) fomentar las capacidades de adaptación fortaleciendo procesos de gobernanza, generación de conocimiento aplicado, articulando también a las entidades territoriales respectivas a la empresa y los usuarios del sistema y c) procurar la gestión de las funciones de los ecosistemas esto es trabajar para mantener la resiliencia socio-ecológica.

Esta investigación evidencia que abordar la vulnerabilidad de forma multidimensional considerando el cambio global, resulta en una herramienta viable para gestionar las intervenciones en el territorio, evitando ser reactivos ante las eventualidades y actuar de manera anticipada, el conocimiento que se genera en este tipo de trabajos permite la comprensión integral de territorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Abric. 1994. *Prácticas Sociales y Representaciones*. Ediciones Coyoacán. México.
- Adger. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16:268-281.
- Akamani. 2016. Adaptive Water Governance: Integrating the Human Dimensions into Water Resource Governance. *Journal of Contemporary Water Research & Education*. Vol 158. 2-18p.
- Alier J. 2008. Conflictos ecológicos y justicia ambiental. *Papeles Relac. ecosociales y cambio Glob.* 103:11-28.
- Alfaro J, Fernández, González M. 2016. El diálogo transdisciplinario un enfoque de abordaje del cambio climático. *Rev. Científica FAREM-Esteli*:72-85.
- Anderies J, JanSEn M, Ostrom E. 2004. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. *Ecol. Soc.* 9.
- Angelstam, P, Andersson, K, Annerstedt, M, Axelsson, R, Elbakidze, M, Garrido. 2013. Solving Problems in Social–Ecological Systems: Definition, Practice and Barriers of Transdisciplinary Research. *Ambio*, 42(2), 254–265. <http://doi.org/10.1007/s13280-012-0372-4>
- Arnold M, Osorio F, 1998. Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. p:40-49.
- Armatas C, Venn T, Watson A. 2017. Understanding social–ecological vulnerability with Q-methodology: a case study of water-based ecosystem services in Wyoming, USA. *Sustain. Sci.* 12:105-121.
- Asociación Mundial para el Agua – GWP. 2000.
- Bayón M. 2016. The geographical thinking in the perception of risks for extreme hydrometeorological hazards: a case of study at Mariel, Cuba. *Revista Geográfica de América Central* Nº 56. ISSN 1011-484X, enero-junio 2016. pp. 113–135. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.1-56.5>.
- Becker. 2012. Social-ecological systems as epistemic objects. *Human-Nature Interactions in the Anthropocene: Potentials of Social-Ecological Systems Analysis*. London: Routledge, pp. 37-59.
- Berkes F, Colding J, Folke C. 2003. *Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press.
- Berkes, F. and C. Folke. 1998. *Linking social and ecological systems for resilience and sustainability. Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Berkes F, Seixas C. 2005. Building resilience in lagoon social–ecological systems: a local-level perspective. *Ecosystems* 8:967-974.
- Bertalanffy, 1986. *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*.
- Birkmann J, 2006a. *Measuring vulnerability to natural hazards—towards disaster resilient societies*. United Nations University Press, Tokyo
- Birkmann J, 2006b. *Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions*. Birkmann J (ed) *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies*. United Nations University Press, Tokyo, pp 9–54
- Birkmann J, O. Cardona M, Carreño A, Barbat, Pelling S, Schneiderbauer S, Kienberger M, Keiler D, Alexander and Zeil. 2013: Framing vulnerability, risk and societal response: the MOVE framework. *Natural Hazards*, 67(2), 193- 211.
- Brooks, N. 2003. *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper 38:1-16.

Brooks N, Adger, Mick. 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation, In *Global Environmental Change*, Volume 15, Issue 2, 2005, Pages 151-163, ISSN 0959-3780.

Burhenne-Guilmin F, Scanlon J. 2004. *International Environmental Governance*, IUCN Environmental Policy and Law Paper No 49, IUCN Gland, Switzerland.

Cai J, Varis O, Yin H. 2017. China's water resources vulnerability: A spatio-temporal analysis during 2003–2013. *J. Clean. Prod.* 142:2901-2910.

Camacho H, García A, Sainos A. 2014. Índice de vulnerabilidad y costos de adaptación al cambio climático. Caso del sistema de agua municipal de la ciudad de Mexicali. *Rev. Estud. Socioambientales sobre Agua y Territ.* 1.

Casanoves F, Pla L, Di Rienzo JA. 2011. Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos.

Cardona O. 2003. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management, in *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, G. Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (Ed), Earthscan Publishers, Londres.

Carpenter S, Walker B, Anderies, J. M. y Abel, N. 2001. "From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?" *Ecosystems* 4(8): 765-781.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, 2008. Seminario Internacional de Cogestión de Microcuencas Hidrográficas: Experiencias y Desafíos (2008 : Turrialba, Costa Rica). *Cogestión de microcuencas hidrográficas: experiencias y desafíos / editado por Laura Benegas y Jorge Faustino . – Turrialba, C.R : 157 p. : il. – (Serie técnica. Reuniones técnicas / CATIE ; no.13)*CDB, D. d. 2004. *Enfoque por Ecosistemas*

Ceron M. 2017. Análisis de las transformaciones del paisaje en el norte del parque nacional natural puracé.

Chang H, Jung I-W, Strecker A, Wise D, Lafrenz M, Shandas V, Moradkhani H, Yeakley A, Pan Y. 2013. Water supply, demand, and quality indicators for assessing the spatial distribution of water resource vulnerability in the Columbia River basin. *Atmosphere-Ocean* 51:339-356.

Chaves H, Alipaz S. 2007. An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resour. Manag.* [Internet] 21:883-895. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2>

Cheng J, Tao J. 2010. Fuzzy comprehensive evaluation of drought vulnerability based on the analytic hierarchy process:—an empirical study from Xiaogan City in Hubei Province. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 1:126-135.

Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño – CIIFEN. 2010. *Guía de Gestión y Mapeo de Riesgo Climático.*

Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo-CMAD. *Reporte.* 1987.

Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente – CIAMA. *Dublín.* 1992.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. *Río de Janeiro.* 1992.

Congreso De Colombia, 2012. *Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.*

Congreso de la Republica de Colombia, 1994. *Ley 142. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.*

Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC. 2015. *Análisis de vulnerabilidad ante el cambio y la variabilidad climática en todos los municipios del Cauca, utilizando información primaria recopilada a través del enfoque de adaptación basado en comunidades en el departamento del Cauca.*

- Corporación Autónoma Regional del Cauca-CRC. 2014. Caracterización biofísica del Patía.
- Cook B, Spray C. 2012. Ecosystem services and integrated water resource management: Different paths to the same end. *Journal of Environmental Management*. Vol-109. 93-100p. www.elsevier.com/locate/jenvman
- Cooperative for Assistance and Relief Everywhere-CARE. 2016. Reaching Resilience. CARE Nederland, Groupe URD y Wageningen University.
- Córdoba Y, Melo Y. 2016. Formulación de adaptaciones metodológicas para la determinación del índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua en la microcuenca Quebrada-Negra, vereda Piluma, municipio de Sasaima Cundinamarca.
- Corredor C, Fonseca C & Páez B, 2012 Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano, en *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* – Volumen 3 Número 1 – ISSN 2145-6097
- Cuenya, Ruetti, 2010. Controversias epistemológicas y metodológicas entre el paradigma cualitativo y cuantitativo en psicología. 3150:271-277.
- Denevan, William M. 1983. Adaptation, Variation, and Cultural Geography, *The Professional Geographer*, 35:4, 399-407, DOI: 10.1111/j.0033-0124.1983.00399.x
- Departamento Administrativo de Estadística-DANE. 2016. Censo poblacional.
- Dourojeanni A, Jouravlev A. 2001. Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua: desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21. Comisión Económica para América Latina - CEPAL. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile.
- Duarte, Abanades, Agustí, Alonso. 2006. Cambio global Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra.
- Escolero O, Martínez S, Kralisch S, Perevochtchikova M, 2009. Vulnerabilidad de las Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano de la Ciudad de México en el contexto de cambio climático.
- Escolero O, Kralisch E, Martínez S, Perevochtchikova M. 2016. Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano a la Ciudad de México, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*.
- Esqueda S-T, Ospina-Noreña J, Gay-García C, Conde C. 2011. Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesí river basin, Tamaulipas, México. *Atmósfera* 24:141-155.
- Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres-UNISDR (por sus siglas en inglés). 2009
- Faustino, J; Jiménez, F. 2005. Institucionalidad de los organismos de cuencas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 76 p.
- Farley K, Tague C, Grant G. 2011. Vulnerability of water supply from the Oregon Cascades to changing climate: Linking science to users and policy. *Glob. Environ. Chang.* 21:110-122.
- Fazey, Fischer, Sherren, Warren, Reed, Dovers, Noss, Reed. 2007. Adaptive leverage capacity for and learning to learn as Leverage for Social-Ecological Resilience. *Ecological Society of America*. Vol. 5, No. 7 (Sep., 2007), pp. 375-380.
- Figueroa A, Valencia M, 2009. Fragmentación y Coberturas Vegetales de Ecosistemas Andinos, Departamento del Cauca. Popayan.
- Folke C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analysis. *Glob. Environ. Chang.* 16:253-267
- Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, Gunderson L, Holling C, Walker B. 2002. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO*

A J. Hum. Environ. 31:437-440.

Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Chapin T, Rockström J. 2010. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society* 15(4): 20. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>.

Gallopin G. 1991. Human dimensions of global change-linking the global and the local process. *Int. Soc. Sci. J.* 43:707-718.

Gallopin G, 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change* 16:293-303.

Gibbons M. 1994. La nueva producción del conocimiento: La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas.

Gobernación del Cauca. 2016. Análisis de la vulnerabilidad e implementación de alertas tempranas para sistemas de abastecimiento de agua en el departamento del Cauca-AQUARISC-SGR-CTel. Caracterización del municipio de Timbío-Cauca.

Gobernación del Cauca. (2017). Análisis de la vulnerabilidad e implementación de alertas tempranas para sistemas de abastecimiento de agua en el departamento del cauca-AQUARISC. SGR-CTel.

Gobierno de Panama. (2012) . Estrategias de gestión integrada de las cuencas de los ríos Chucunaque y Tabasará para la reducción de la vulnerabilidad.

Gonzales L. 2011. Viabilidad de las técnicas de ecología del paisaje, en el proceso de toma de decisiones del uso del terreno.

Graña, F. 2005. Todos contra el Estado: Usos y abusos de la "gobernanza". *Espacio abierto*, 14(4), 501-529.

Gunderson L, Holling C. (2001). *Panarchy: understanding transformations in human and natural systems*. Island Press.

Gunderson L, Pritchard Jr. (2003). Resilience and the Behavior of Large-Scale Systems. *Manag. Environ. Qual. An Int. J.* 14:423-424.

Gunderson L, Pritchard Jr, Pritchard L. 2012. *Resilience and the Behavior of Large-Scale Systems*. Island Press.

Gutiérrez P. 2001. Mapas sociales : método y ejemplos prácticos. *Diálogos: Educación y formación de personas adultas*, ISSN 1134-7880, N° 25, 2001, págs. 26-36. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=6580>

Hall J, Murphy C. 2010. Vulnerability analysis of future public water supply under changing climate conditions: A study of the Moy Catchment, Western Ireland. *Water Resour. Manag.* 24:3527-3545.

Hamouda M, Nour E, Moursy F. 2009. Vulnerability Assessment of Water Resources Systems in the Eastern Nile Basin. *Water Resour. Manag.* [Internet] 23:2697-2725. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-009-9404-7>

Heinimann H. 2010. A concept in adaptive ecosystem management—An engineering perspective." *Forest Ecology and Management*(259): 9.

Heijmans, A. 2012. Risky Encounters: Institutions and interventions in response to recurrent disasters and conflict. PhD thesis, Wageningen University

Hernández R, Carlos F, Baptista P. 2010. *Metodología de la Investigación (Sampieri)* (5 ed.). México: Mc Graw Hill.

Hernández Z, Monasterio M. 2002. La vulnerabilidad de las formas de vida en la antropización del páramo andino, in *Congreso Mundial de Páramos*, MMA, et al., Editors. 2002: Paipa. p. 321-331.

Holling C. 2001. "Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems." *Ecosystems* 4: 4.

Holling C. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*:1-23

- Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2001. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Bogotá, DC.
- Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2010a. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá D.C.: IDEAM.
- Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2010b. Estudio Nacional del Agua 2010. Bogota D.C.
- Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2014. Incorporación de la gestión adaptativa de los riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial. Informe técnico: Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá – Cundinamarca.
- Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales – IDEAM. 2016. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, Departamento Nacional de Planeación - DNP. 2016. Tercera comunicación nacional de cambio climático., cancillería, observatorio de ciencia y tecnología. "Políticas Públicas y el Cambio Climático en Colombia: Vulnerabilidad vs Adaptación". Bogotá D.C., Colombia.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático pa a Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional - Regional: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. ISBN 978-958-8902-57-9.
- Intergovernmental panel on climate change - IPCC, 2001. Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. Informe del Grupo de Trabajo I del IPCC. URL: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- Intergovernmental panel on climate change - IPCC, 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Intergovernmental panel on climate change - IPCC, 2012. Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental panel on climate change – IPCC. 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Chapter 19. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. KiSEI, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- Joaqui S, Figueroa A, 2014. Factores que determinan la resiliencia socio-ecológica para la alta montaña andina. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 13, No. 25 ISSN 1692 - 3324 - julio-diciembre de 2014/248 p. Medellín, Colombia.
- Joaqui S. 2017. Capacidad de Adaptación Social y Ecosistémica Para la Alta Montaña Andina. Universidad del Cauca. Popayán – Cauca, Colombia
- Jurado E, Azáldegui A, Otoya H, Benavides O, Sáenz D, Ludeña L, Velázquez M. 2016. Socioeconomic vulnerability and resilience to natural disasters in the district Sayan-Perú. Instituto de Investigación. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Kammerbauer, Faustino, Prins. 2014.Character of community response to volcanic

- criSE at Sinabung and Kelud volcanoes. *Global Environmental Change*. Vol 19. 90 p.
- Kaufmann D. 2002. Replanteando la Gobernabilidad documento sin pág. Corresponde a una traducción del texto en inglés, original "Rethinking Governance", en Reporte Global de Competitividad, año 2002-2003.
- Kelly P, Adger W. 2000. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and Facilitating adaptation. *Climatic Change* 47:325-352.
- Kohler, B. 1999. *The transformation of European governance*, London: Routledge.
- Larson K, Polsky C, Ober P, Chang H, Shandas V. 2013. Vulnerability of water systems to the effects of climate change and urbanization: A comparison of Phoenix, Arizona and Portland, Oregon (USA). *Environ. Manage.* 52:179-195.
- Lebel L, Anderies J, Campbell B, Folke C, Hatfield S, Hughes T, Wilson J. 2006. Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological systems. *Ecology and Society* 11(1): 19. [online] URL:<http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art19/>
- Lin Y, Lee T, Shih H. 2012. Assessment of the Vulnerability and Risk of Climate Change on Water Supply and Demand in Taijiang Area. *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Environ. Chem. Ecol. Geol. Geophys. Eng.* 6:396-404.
- Lincoln Y, Guba E. 2002. Judging the quality of case study reports. *Qual. Res. companion* 205-215.
- Ludwig D, Mangel M, Haddad B. 2001. Ecology, conservation, and public policy. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32:481-517.
- Malano H, Bryant M, Turrall H. 1999. Management of water resources: Can Australian experiences be transferred to Vietnam. *Water International* 24 (4), 307–315.
- Matondo J. 2002. A comparison between conventional and integrated water resources planning and management. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C Volume 27, Issues 11–22, 2002, Pages 831-838*
- Mayntz R. 1998. *New challenges to governance theory*, European University Institute, The Robert Schuman Centre - Jean Monet Chair Papers, n.º 50, Florence.
- Martín B, Gómez B, Montes C. 2009. Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante. *Cuid. Cuad. Interdiscip. Desarro. Sosten.*:229-258.
- Martín B, González J, Vilardy S. 2012. *Ciencias de la sostenibilidad: guía docente*. Universidad del Magdalena.
- Martín B, Montes C. 2011. *Los sistemas socio-ecológicos: entendiendo las relaciones entre la biodiversidad y el bienestar humano*.
- Martínez J. 2017. *Desarrollo de un Modelo Conceptual para la Gestión Ambiental Integral en Ecosistemas de Páramo*. Universidad del Cauca. Popayán – Cauca, Colombia.
- Mendoza M. 2008. *Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano humano; aplicación y determinación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Copán, Honduras*.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio – MVCT. 2016. *Plan nacional de contingencia del sector de agua para consumo humano humano y saneamiento básico para temporada de lluvias y posible fenómeno la niña 2016- 2018*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MVCT y Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD. 2014. *Herramienta Metodológica para la Fórmulación de Programas de Gestión del Riesgo de Desastres en los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo* (pp. 68). Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS. 2013. *Programas y Proyectos del Plan Hídrico Nacional Fase II (2015 – 2018)*. :1-43.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio - Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. 2014. *Herramienta metodológica para la fórmulación de programas de gestión*

del riesgo de desastres en los servicios de acueducto alcantarillado y aseo acueducto, alcantarillado y aseo.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT. 2010. Política nacional para la gestión del recurso hídrico. Bogotá, D.C. Dirección de Ecosistemas, grupo de recurso hídrico.

Morin E, 1998. Introducción al pensamiento complejo.

Municipio de Timbío, Cauca. 2015. Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres-PMGRD.

Nistal T. 2008. Active-research action, networks and social maps: from research to social intervention. *Portularia* Vol. VIII, nº 1. 2008, [131-151], issn 1578-0236. Universidad de Huelva.

Noriega O, Gutiérrez Y, Rodríguez J. 2011. Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del río Gaira, en el Distrito de Santa Marta. *Prospectiva* 9:93-102.

Nyberg. 1999. An introductory guide to adaptive management for Project Leaders and Participants. Canada.

Nyberg. Sf. Adaptive management: strategies for coping with change and uncertainty. *Dimensions Of Sustainable Development – Vol. II*.

Ripken, C. 2009. Resilience and Vulnerability of Wetlands. Master of Science thesis. Faculty of Agriculture, Rheinische Friedrich–Wilhems–Universität zu Bonn, Germany, pp. 122.

Ocampo O. 2012. Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático.

Olsson P, Folke C, Hahn T. 2004. Social-ecological transformation for ecosystem management: the development of adaptive co-management of a wetland landscape in southern Sweden. *Ecology and Society* 9(4): 2. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss4/art2>

Olsson P, Folke C, Berkes F. Adaptive Comanagement for Building Resilience in Social–Ecological Systems , en: *Environmental Management* (2004) 34: 75. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0101-7>

Olsson P, Gunderson L, Carpenter S, Ryan P, Lebel L, Folke C, Holling C. 2006 .Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems. *Ecology and Society* 11(1): 18. [online] URL:<http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art18/>

Organización de las Naciones Unidas-ONU. 2015. Cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015. Objetivos del desarrollo sostenible.

Orjuela, D. E. M. 2014. Gobernanza ambiental en Colombia: la acción estatal y de los movimientos sociales. *Ambiente y Desarrollo*, 18(34), 27-42.

Ospina, Carol. 2009; Propuesta De Gestión Integral Del Recurso Hídrico En El Interfluvio Inchiyaco-Tambor Municipio De Piamonte-Cauca, Area De Influencia Del Parque Nacional Natural Serranía De Los Churumbelos Auka Wasi; Trabajo de Grado de Pasantía para optar el Título de Administradora Ambiental: Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales Proyecto Curricular Administración Ambiental.

Ostrom, E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social–Ecological Systems. *Science*, vol. 325, nº5939, 419–422.

Palacio K, Rodríguez Y. 2014. Análisis de vulnerabilidad del sistema territorial para la región afectada por la sequía del presente año en los departamentos del Meta y Casanare en Colombia.

Pandey V, Babel M, Shrestha S, Kazama F. 2010. Vulnerability of freshwater resources

in large and medium Nepalese river basins to environmental change. *Water Sci. Technol.* 61:1525-1534.

Pelling M. 2010. *Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation*. Routledge, Abingdon, UK and New York, NY, USA, 224 pp.

Pelling M. 2012. *Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation*. Routledge, Abingdon, UK and New York, NY, USA, 224 pp.

Pérez L. 2014. Perspectivas sobre la gobernanza de los bienes y la ciudadanía en la obra de Elinor Ostrom, Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Sociales. *Revista Mexicana de Sociología* 76: 77-104. México, D.F. ISSN: 0188-2503/14/076-especial-03.)

Pérez M, Rojas J, Ordoñez C. 2010. *Desarrollo sostenible: Principios, aplicaciones y lineamientos de política para Colombia*. Cali, Colombia.: Universidad del Valle - Instituto CINARA.

Peterson G, Allen C, Holling C. 1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. *Ecosystems* 1:6-18.

Phillips B, Fordham M. 2009. Introduction: chapter 1. In: Phillips BD, Thomas DSK, Fothergill A, BlinnPike L (eds) *Social vulnerability to disasters*. CRC Press, Boca Raton

Plan departamental de aguas PDA-PAP Cauca. 2017. Plan de gestión del riesgo del sector agua para consumo humano y saneamiento básico enfocado a los municipios vinculados al PDA-PAP Cauca.

Plummer R, Grosbois D, Armitage D, Loë R. 2013. An integrative assessment of water vulnerability in First Nation communities in Southern Ontario, Canada. *Glob. Environ. Chang.* 23:749-763.

PNGIBSE. 2012. *Política Nacional para la gestión integral de la biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos*. Ministerio del Medio Ambiente

Proctor, James D., Susan G. Clark, Kimberly K. Smith, and Richard L. Wallace. 2013. A manifesto for theory in environmental studies and sciences. *Journal of Environmental Studies and Sciences* no. 3 (3): 331–337.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA, 2014.–. *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Red de Formación Ambiental. México D.F.

Programa conjunto de integración de ecosistemas y adaptación al cambio climático en Colombia-PC. 2011.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA. 2009. *Integrated Water Resources Management in Action*. WWAP, DHI Water Policy, PNUMA-DHI Centro para el Agua y el Medio Ambiente.

Programa de ahorro y uso eficiente de agua-PUEAA. Municipio de Timbío Cauca. 2016.

Pozo S. 2007. *Mapeo de Actores Sociales*, documento de trabajo PREVALFIDA.

Ramos C. 2015. Los paradigmas de la investigación científica. Researchgate. <https://www.researchgate.net/publication/282731622>

Recaman L. 2017. *Manejo Adaptativo del Territorio en una Cuenca Altoandina desde la Diversidad Cultural y Ecosistémica*. Universidad del Cauca. Popayán – Cauca, Colombia.

Restrepo I. 2003. *Gobernabilidad del Agua en Colombia – CINARA*. Memoria del taller regional sobre agua, pobreza y gobernabilidad. Care Internacional. Quito 10 y 11 de febrero de 2003.

Disponible en http://www.eclac.org/DRNI/proyectos/samtac/actividades_nacionales/ecuador/1/taller2.pdf

Restrepo I. 2010. *Usos múltiples del agua como una estrategia para la reducción de la pobreza: experiencias y propuesta para el contexto colombiano*. Editorial Universidad del Valle.

- Republica de Colombia. 2014. Plan de Desarrollo Nacional - PND, 2006-2010.
- Republica de Colombia. 2012. Ley No. 1523. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá, Colombia. 24 de Abril de 2012.
- Republica de Colombia. 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico GIRH. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT.
- Rey, J. P. G. 2009. La gobernanza y la gobernabilidad ambiental un estudio desde el modelo de geografía y desarrollo El caso de los alimentos transgénicos. Diálogos de saberes, (31), 73-91.
- Roa C, Brown S. 2009. ASEsing water use and quality through Rheinheimer D, Ligare S, Viers J. 2012. Water and Energy Sector Vulnerability to Climate Warming in the Sierra Nevada: Simulating the Regulated Rivers of California's West Slope Sierra Nevada. (California U of, editor.). California Energy Commission.
- Roa C, Brown S. 2009. ASEsing water use and quality through youth participatory research in a rural Andean watershed. *J. Environ. Manage.* 90:3040-3047.
- Rueda, S. 2000. Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles. Economía, ecología y sostenibilidad en la sociedad actual, Fundación Universidad de Verano de Castilla y León.
- Ruiz O. 2017. Incidencia de la Producción Agrícola en el Servicio Ecosistémico de Abastecimiento de Agua para Consumo humano Humano en Cuencas Alto Andinas. Universidad del Cauca. Popayán – Cauca, Colombia.
- Salazar M. 2014. Vulnerabilidad social a la disminución del suministro hídrico en el Distrito Federal. Mexico.
- Sander L. 2012. Representações sociais de professores(as) a respeito de meio ambiente e suas práticas pedagógicas escolares em educação ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, Brasil.
- Sarkar R, Vogt J. 2015. Drinking water vulnerability in rural coastal areas of Bangladesh during and after natural extreme events. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 14:411-423.
- Schultz, L., Folke, C., Österblom, H., & Olsson, P. (2015). Adaptive governance, ecosystem management, and natural capital. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7369-7374.
- Solis L, sf. El pensamiento complejo. :1-16.
- Svarstad, H., L. K. Petersen, D. Rothman, H. Siepel y F. Wätzold. 2008. Discursive biaSE of the environmental research framework DPEIR. *Land Use Policy* 25(1): 116-125
- Sullivan C. 2011. Quantifying water vulnerability: a multi-dimensional approach. *Stoch. Environ. Res. Risk ASEs.* 25:627-640.
- Takashi K. 2014. Conferencia El Niño, la variabilidad climática y el cambio climático: El Fenómeno El Niño y sus diferentes tipos. Pabellón Océanos en Voces por el Clima. Instituto Geofísico Peruano (IGP).
- Tapella E. 2007. El mapeo de Actores Claves, documento de trabajo del proyecto Efectos de la biodiversidad funcional sobre procesos ecosistémicos, servicios ecosistémicos y sustentabilidad en las Américas: un abordaje interdisciplinario”, Universidad Nacional de Córdoba, Inter-American Institute for Global Change Research (IAI)
- Thonicke K, Bahn M, Bardgett R, Bloemen J, Chabay I, Erb K, Giamberini M, Gingrich S, Lavorel S, et al. 2017. Advancing the adaptive capacity of social-ecological systems to absorb climate extremes. En: EGU General ASEMBly Conference Abstracts. Vol. 19. . p 12441.
- UNEP 2012. The UN-Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD. 2017. Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo SNGRD
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2005. Building the

resilience of nations and communities to disasters – summary.
<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/8720>.

Valencia M. 2014. Metodología para el análisis de vulnerabilidad en microcuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 13, No. 25 ISSN 1692 - 3324 - julio-diciembre de 2014/248 p. Medellín, Colombia.

Vargas Franco, Viviana Estadística descriptiva para ingeniería ambiental con SPSS / Viviana Vargas Franco. -- Editora Viviana Vargas Franco. -- Cali: Impresora Feriva, 2007.) (<https://es.surveymonkey.com/>)

Vicuna S, Meza F, Jelinek M, Bustos E, Bonelli S. 2010. Vulnerability of a municipal water supply system in Central Chile to climate change impacts. En: AGU Fall Meeting Abstracts.

Vilardy S. 2009. Estructura y dinámica de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta una aproximación desde el marco conceptual de los istemas socio-ecológicos complejos y la teoría de la resiliencia.

Vilardy S, González J, Martín-López B, Oteros-Rozas E. 2012. Los servicios de los ecosistemas de la Reserva de Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revibec Rev. Iberoam. Econ. ecológica* 19:66-83.

Virapongse, A Brooks S, Covelli Metcalf E, Zedalis M, Gosz J, Kliskey A, Alessa L. 2016. A social-ecological systems approach for environmental management, In *Journal of Environmental Management*, Volume 178, 2016, Pages 83-91, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.028>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030147971630069X>)

Walker B, Salt D. 2012 *Resilience Thinking Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*, Washington DC, Island Press ed, p 174.

Wang X, Ma F, Li J. 2012. Water resources vulnerability aSEsment based on the parametric-system method: a case study of the Zhangjiakou Region of Guanting Reservoir Basin, North China. *Procedia Environ. Sci.* 13:1204-1212.

Wang, S.-Y., J.-S. Liu, and C.-J. Yang. 2008. Eco-Environmental Vulnerability Evaluation in the Yellow River Basin, China. *Pedosphere* 18:171-182.

Watson R, Zinyowera M, Moss R. 1996, 'Climate Change 1995', in *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical AnalySE*, Cambridge University Press, Cambridge.

Wisner B, Blaikie P, Cannon T, Davis I. 2004. *At risk, natural hazards. People's Vulnerability and Disasters*, Routledge.

Xia J, Shi W, Hong S, Chen J. 2016. Linkages with the quantitative aSEsment of water resources vulnerability: a new approach for adaptive water management under changing environment. *Water Sci. Technol. Water Supply:ws2016112*.

Zamudio C, 2012. Governance of water resources in Colombia: between progress and challenges. *Gest. Ambient.*, Volumen 15, Número 3, p. 99-112, 2012. ISSN electrónico 2357-5905. ISSN impreso 0124-177X.

Zapata R. 2000. *América Latina y el Caribe: el impacto de los desastres naturales en el desarrollo, 1972-1999*; México.

ANEXOS

Anexo A. Instrumento para levantamiento de información en subsistema Fuente

Proyecto Doctoral: Modelo de Gestión Integral de la Vulnerabilidad en Microcuencas Abastecedoras Ante La Variabilidad Climática a partir de un Enfoque Adaptativo

Doctorado en Ciencias Ambientales – Universidad del Cauca

Instrumento para Levantamiento de Información en Subsistema Fuente¹³

Nombre del predio: _____ Organización a cuál pertenece: _____
Municipio: _____ Vereda: _____ Corregimiento: _____

Edad _____ Nivel educativo: Primaria__ Básica media__ Básica secundaria__ Técnico__
Tecnólogo__ Profesional__ Posgrado__

Para atender sus necesidades de agua en el predio (Hogar, cultivos, bebederos), usted se abastece de:

	SI	NO	NOMBRE	USOS (Doméstico, riego, bebederos, otros)
Solución de agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Acueducto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Con este instrumento, nos acercaremos de forma general a la percepción del cambio climático, la gestión del riesgo, el acceso, usos y practicas relacionadas con el cuidado del agua y la salud, en los predios ubicados en la Fuente abastecedora.

SECCIÓN I

A continuación, quisiéramos conocer que tanto percibe del cambio climático y su incidencia en el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano. Por favor marque con una "X" una sola respuesta en las siguientes preguntas.

¿Qué tan informado se siente en cuanto al cambio climático? En caso de que su respuesta sea la opción "D (Nada informado)" pase a la sección II.

A) Muy informado B) Informado C) Poco informado D) Nada informado

¿El cambio climático está ocurriendo actualmente u ocurrirá en el futuro?

No ocurre/no existe 1 Está ocurriendo actualmente 2 ocurrirá en 5 o 20 años 3 No sabe/ no responde 4

¹³ Fuente Instrumento - Proyecto: "Análisis de Vulnerabilidad E Implementación de Alertas Tempranas para Sistemas de Abastecimiento de Agua en el Departamento del Cauca– AQUARISC"

¿A nivel local cómo afecta el cambio del clima sus actividades diarias y calidad de vida? Indicar con qué frecuencia suceden los siguientes fenómenos. Asigne números entre 1 y 7, en donde el 1 es el más frecuente y 7 lo menos frecuente (SIN REPETIR NÚMEROS).

Períodos de Calor o frío extremo	Aumento en la frecuencia de Heladas	Aumento en la frecuencia de Plagas	Incendios Forestales	Perdida de Fauna y Flora	Enfermedades (diarreas, piel entre otras)	Afectación de los cultivos

¿Cuál es la principal amenaza en su localidad para el sistema de abastecimiento de agua?

- a) incendios forestales 1 ____ b) deslizamientos 2 ____ c) sequia 3 ____
 d) inundaciones y crecientes 4 ____ e) contaminación 5 ____ f) No sabe/No responde 6 ____

¿Conoce usted, los propósitos del plan de gestión del riesgo de desastres de su municipio?

Sí

NO

SECCIÓN II

Usted se está adaptando (preparando ante) al cambio climático SI NO

Que acciones adelanta para enfrentar los efectos negativos del Cambio en el Clima en torno al agua (Organice según la frecuencia de la actividad, 1 para la más frecuente y 5 para la menos frecuente).

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	

SECCIÓN III

¿Cuál es la medida de prevención de enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua que prefiere en su hogar? Indicar solo una respuesta (la que usted use más):

Adiciono cloro	Adiciono pastillas	Adiciono ceniza	Hiervo el agua	Otra: ¿Cuál?	ninguna
1	2	3	4	5	6

Las siguientes secciones se orientan a conocer la continuidad y calidad del agua que usted consume. Además, de identificar las costumbres y prácticas relacionadas con el aprovechamiento y buen uso del agua en su hogar y finca.

SECCIÓN IV

Continuidad del agua	Siempre (24h)	Frecuentemente (Entre 23 a 19h)	A veces (Entre 10 a 18h)	Casi nunca (menos 10h)	Nunca
En mi casa es permanente la disponibilidad del agua en época de verano (Pocas lluvias)	1	2	3	4	5
En mi casa es permanente la disponibilidad del agua en época de invierno (Muchas lluvias)	1	2	3	4	5

SECCIÓN V

Calidad del agua	Siempre (24h)	Frecuentemente (Entre 23 a 19h)	A veces (Entre 10 a 18h)	Casi nunca (menos 10h)	Nunca
En época de verano (Pocas lluvias) el agua que usted consume es limpia (no tiene color, ni olor, ni sabor)	5	4	3	2	1
En época de invierno (Muchas lluvias) el agua que usted consume es limpia (no tiene color, ni olor, ni sabor)	5	4	3	2	1

SECCIÓN VI

Uso eficiente del agua	Siempre	Frecuentemente	A veces	Casi nunca	Nunca
Cierro la llave mientras me baño, me cepillo los dientes, lavo ropa y los platos	5	4	3	2	1
En casa el tanque del lavadero permanece lleno	1	2	3	4	5
En casa recolecto aguas lluvias	5	4	3	2	1
En casa se utilizan accesorios y sistemas de ahorro de agua como: economizadores para grifos, botellas en el tanque del inodoro.	5	4	3	2	1
No realizo prácticas de ahorro en mi casa para evitar el desperdicio de agua en las actividades desarrolladas en mi predio	1	2	3	4	5
Reutilizo el agua de actividades domésticas, agrícolas y pecuarias	5	4	3	2	1
Almaceno agua para las actividades agrícolas y pecuarias (tanques o reservorios)	5	4	3	2	1
Utilizo sistemas de dispersión de agua como: bombas, canales, riego por goteo, otros.	5	4	3	2	1

SECCION VII

Prácticas productivas sostenibles (desarrolladas en los 2 últimos años y que este implementada en el presente)	Siempre	Frecuentemente	A veces	Casi nunca	Nunca
En mi predio uso semillas nativas	5	4	3	2	1
En mi predio uso semillas mejoradas o compradas en tiendas agropecuarias	5	4	3	2	1
Realizo algún manejo ambientalmente amigable en el cultivo.	5	4	3	2	1
Planifico las actividades en mi finca (calendario agrícola, control de costos y pérdidas, registros de ventas, comercialización)	5	4	3	2	1

Realizo obras de conservación de suelo (ej. Barreras vivas, barreras muertas, a-sequias de ladera, canales, diques)	5	4	3	2	1
Utilizo residuos de cosecha, materiales orgánicos u otros para preparar abonos	5	4	3	2	1
Elaboro sistemas sencillos de tratamientos para las aguas residuales generadas por la cocina, baños, lavaderos, o por actividades de producción.	5	4	3	2	1
Utilizo productos químicos como plaguicidas, herbicidas o precursores en mi predio.	5	4	3	2	1
Uso de insecticidas naturales o productos biológicos para el control de plagas.	5	4	3	2	1
Uso trampas o métodos culturales para el control de plagas	5	4	3	2	1
Protejo las Fuentes de agua con vegetación natural	5	4	3	2	1
Realizo aislamiento de zonas de pastoreo o cultivo cercanos a las Fuentes de agua.	5	4	3	2	1

Anexo B. Instrumento para levantamiento de información en subsistema Prestador

Proyecto Doctoral: Modelo de Gestión Integral de la Vulnerabilidad en Microcuencas Abastecedoras ante la Variabilidad Climática a partir de un Enfoque Adaptativo
 Doctorado en Ciencias Ambientales – Universidad del Cauca
 Instrumento para Levantamiento de Información en Subsistema Prestador¹⁴

Indicador	Valor (año _____)
Inversión presupuestada	
Inversión ejecutada	
Gasto anual en la inversión en capacitaciones (educación ambiental, gestión hídrica, etc)	
Inversión presupuestada en infraestructura y tecnología	
Inversión ejecutada en infraestructura y tecnología	
Total de recursos municipales (SGP) que ingresaron al Prestador	
Total de recursos invertidos en la prestación del servicio de agua para consumo humano	
Total de recursos que ingresaron al Prestador	
Valor facturado	
Valor recaudado	
Número de trabajadores certificados en competencias laborales a 2017	
Número de trabajadores totales a 2017	
Número de usuarios no residenciales	
Número total de usuarios	
Número de horas de prestación del servicio por día	
Porcentaje de cobertura del servicio en zona rural	
Continuidad del servicio en horas	
Cobertura del servicio zona rural (%)	
Número total de peticiones que corresponden a la prestación del servicio de agua para consumo humano	
Número total de peticiones	
Alternativas de captación	0: No hay alternativas () 1: Existe una alternativa () 2: Existen dos o más alternativas ()
Instrumentos de gestión (planificación, control de calidad, planes operativos, etc.)	0: No hay instrumentos () 1: Si hay, pero no se aplican () 2: Se aplican parcialmente () 3: Se aplican en su totalidad ()

¹⁴ Fuente Instrumento - Proyecto: "Análisis de Vulnerabilidad E Implementación de Alertas Tempranas para Sistemas de Abastecimiento de Agua en el Departamento del Cauca– AQUARISC"

Anexo C. Instrumento para levantamiento de información en subsistema Usuarios

Proyecto Doctoral: Modelo de Gestión Integral de la Vulnerabilidad en Microcuencas Abastecedoras Ante la Variabilidad Climática a Partir de un Enfoque Adaptativo
 Doctorado en Ciencias Ambientales – Universidad del Cauca
 Instrumento para Levantamiento de Información de Usuarios¹⁵

Municipio: _____ vereda: _____ Estrato: _____

Edad _____ Nivel educativo: Primaria__ Básica media__ Básica secundaria__ Técnico__ Tecnólogo__ Profesional__ Posgrado__

Con este instrumento se busca conocer a nivel de los hogares, como se reconoce el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano, el cambio climático y la gestión del riesgo; así como, la calidad del servicio prestado por el acueducto y que prácticas implementa para el cuidado del agua, la salud y otros elementos clave.

SECCIÓN I

A continuación, quisiéramos conocer que tanto percibe del cambio climático y su incidencia en el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano. Por favor seleccione una respuesta en las siguientes preguntas.

¿Qué tan informado se siente en cuanto al cambio climático? En caso de que su respuesta se D pase a la siguiente sección.

- 1a) Muy informado 2b) Informado 3c) Poco informado 4d) Nada informado

¿El cambio climático está ocurriendo actualmente u ocurrirá en el futuro?

- a) No ocurre/no existe b) Está ocurriendo actualmente c) ocurrirá en 5 o 20 años más

D No sabe/ no responde

¿Cómo afecta el cambio del clima a nivel local sus actividades diarias y calidad de vida? (organizar 1 a 7, 1 más frecuente, 7 menos frecuente)

Enfermedades hídricas (Diarrea, dermatitis, otras)	Continuidad del agua	Calidad del agua	Desastres naturales	Compra de agua	Períodos extremos de calor o frío	Enfermedades respiratorias (Gripe, alergias, otras)

¹⁵ Fuente Instrumento - Proyecto: "Análisis de Vulnerabilidad E Implementación de Alertas Tempranas para Sistemas de Abastecimiento de Agua en el Departamento del Cauca– AQUARISC"

SECCIÓN III

Esta tercera sección pretende conocer la percepción que tienen los usuarios, con referencia al servicio público de agua para consumo humano, abarcando temas como la accesibilidad, calidad y la cobertura del servicio, así como la credibilidad de la empresa Prestadora.

	Calidad del servicio público de agua	Totalmente desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
D1	Las instalaciones de la empresa de acueducto donde le atienden son cómodas.	1	2	3	4	5
D1	El personal de la empresa de acueducto nunca porta elementos de identificación (Escarapelas, uniformes).	5	4	3	2	1
D1	Entiendo la información contenida en la factura.	1	2	3	4	5
D1	Reconoce la imagen corporativa de la empresa de acueducto (Logos, colores, eslogan, factura, etc).	1	2	3	4	5
D2	El agua suministrada por la empresa tiene buen color, olor y sabor.	1	2	3	4	5
D2	El servicio de agua en su casa no es permanente.	5	4	3	2	1
D2	Se presentan errores en su factura del agua.	5	4	3	2	1
D2	Se resuelve de forma eficaz y a tiempo cualquier inquietud sobre su factura.	1	2	3	4	5
D2	Cuando se reporta un daño a la empresa de acueducto se resuelve a satisfacción y con prontitud.	1	2	3	4	5
D3	Los funcionarios del acueducto, demuestran estar capacitados para ofrecer el servicio.	1	2	3	4	5
D3	La empresa notifica suspensiones del servicio de agua oportunamente.	1	2	3	4	5
D3	El servicio de atención al usuario del acueducto es deficiente y demorado.	5	4	3	2	1
D3	Las personas en la empresa de acueducto están dispuestas a atenderlo.	1	2	3	4	5
D4	El personal de la empresa de acueducto se muestra amable y honesto cuando le presta un servicio.	1	2	3	4	5
D4	En las instalaciones donde se atienden a los usuarios, se encuentra personal de vigilancia, están demarcadas las salidas de emergencia, existen extintores.	1	2	3	4	5
D4	Nunca se presentan daños en las tuberías, acometidas y contadores en su barrio.	5	4	3	2	1
D4	La empresa de acueducto le inspira confianza en la prestación del servicio de agua.	1	2	3	4	5
D5	La atención al usuario se realiza de forma personalizada con discreción y respeto.	1	2	3	4	5
D5	La empresa no tiene horarios adicionales de atención al cliente.	5	4	3	2	1
D5	La empresa ofrece opciones de financiación del pago	1	2	3	4	5

	de la factura, las deudas, equipos (contador), etc.					
D5	La empresa no cuenta con medios alternativos de pago (Baloto, efecty, juguemos, pago electrónico, etc).	5	4	3	2	1
D5	La empresa se preocupa por sus necesidades como usuario.	1	2	3	4	5

SECCIÓN IV

Esta cuarta sección se enfoca en conocer las costumbres y prácticas de los usuarios relacionadas con el aprovechamiento y buen uso del agua en sus hogares. De igual manera, conocer las acciones que se realizan en el hogar, para la prevención de enfermedades que están vinculadas al uso del agua.

Uso eficiente del agua	Siempre	Frecuentemente	A veces	Pocas veces	Nunca
Cierro la llave mientras me baño, me cepillo los dientes, lavo ropa y los platos.					
Descongeló los alimentos bajo el chorro de agua.					
Lleno el tanque del lavadero sólo cuando voy a lavar.					
Recolecto aguas lluvias para regar las plantas, lavar los pisos, soltar los baños, bañarse, lavar vehículos, etc.					
Reutilizo el agua del lavado de la ropa.					
En casa recolecto aguas lluvias para la preparación de los alimentos.					
Limito el tiempo para mi baño personal.					
Uso la lavadora para cualquier carga de ropa (poca, media, completa).					
Se hacen reparar las fugas de agua en mi casa.					
En casa se usan inodoros ahorradores o se desarrollan prácticas para ahorrar agua en las descargas (Botellas de gaseosa llenas de agua, ajuste del flotador, otros).					

Usos del agua (Teniendo en cuenta que los acueductos rurales el agua tiene usos múltiples, cuál de estos emplea más frecuente)	Siempre	Frecuentemente	A veces	Pocas veces	Nunca
Uso doméstico (lavado ropa, preparación alimentos, aseo personal, limpieza de la casa, baños, lavamanos)	1	2	3	4	5
Actividades agrícolas (siembra cultivos de autoconsumo humano y/o gran escala)	1	2	3	4	5
Actividades pecuarias (cría de animales de autoconsumo humano y/o gran escala)	1	2	3	4	5
Riego (red de distribución de agua para cultivos y/o canales)	1	2	3	4	5

Prácticas sanitarias	Siempre	Frecuente mente	A veces	Pocas veces	Nunca
Antes de cada comida o consumir algún alimento, lavo mis manos.	5	4	3	2	1
Almaceno agua en recipientes limpios y con tapa.	5	4	3	2	1
Lavo los vegetales y las carnes juntos.	1	2	3	4	5
Para cocinar, uso el agua que es suministrada por el acueducto.	5	4	3	2	1
El agua almacenada en mi casa se consume de manera rápida.	5	4	3	2	1
Hiervo el agua que se consume en la casa (bebidas).	5	4	3	2	1
Evito el estancamiento del agua.	5	4	3	2	1
Utilizo filtro para depurar el agua.	5	4	3	2	1
Después de hacer uso del baño lavo mis manos.	5	4	3	2	1
En mi familia se presentan enfermedades como la diarrea, parásitos, gastroenteritis, etc.	1	2	3	4	5

SECCIÓN V

Esta quinta sección, permite conocer la destinación mensual de dinero empleada para pagar el servicio público de agua para consumo humano en los hogares.

1. Diría que el promedio de sus ingresos familiares netos al mes, está en alguna de las siguientes categorías ¿Me podría decir dónde?

A	1	Menos de \$265.000 pesos
B	2	Entre \$265.001 y \$370.000
C	3	Entre \$370.001 y \$834.000
D	4	Más de \$834.001 pesos

2. ¿Aproximadamente por qué valor le llega su recibo del servicio de acueducto?

A	1	Entre \$1.000 - \$10.000
B	2	Entre \$10.001-\$30.000
C	3	Entre \$30.001-\$50.000
D	4	Entre \$50.001-\$70.000
E	5	Más de \$70.000

3. Marque con una x para invierno y verano, definiendo durante cuantas horas aproximadamente recibe el servicio de agua para consumo humano en su hogar.

		Invierno	Verano
a. No tiene conocimiento	1		
b. Menos de 10 horas	2		
c. Entre 10.1 y 18 horas	3		
d. Entre 18.1 y 23 horas	4		
e. Entre 23.1 y 24 horas	5		

Anexo D. Características de los indicadores del subsistema Fuente

Proyecto Doctoral: Modelo de Gestión Integral de la Vulnerabilidad en Microcuencas Abastecedoras Ante la Variabilidad Climática a Partir de un Enfoque Adaptativo
 Doctorado en Ciencias Ambientales – Universidad del Cauca
 Indicadores del subsistema Fuente¹⁶

IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Nombre	Áreas productivas en rondas hídricas
Código	S.FA.01
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Fuente
Escala/unidad de análisis	microcuenca
Dimensión	Económico productivo
Componente	Sensibilidad
CARACTERÍSTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Con este indicador, se establecerá la exposición de las áreas con dedicación productiva que se ubican en las zonas de influencia directa de los ríos que abastecen los acueductos. Esta métrica, se emplea para determinar el grado al cual están expuestas, las zonas agrícolas y pecuarias establecidas en las rondas hídricas, a variaciones climáticas significativas.
Descripción	Se entiende como el área (porcentaje) que ocupan los cultivos, pasturas o zonas productivas mixtas en las rondas hídricas de la microcuenca de interés analizando hasta la zona de captación (Bocatoma).
Referencia bibliográfica	Elaboración propia, considerando los referentes del SIAC, el IDEAM y Normatividad de rondas hídricas (MADS, 2017).
Variables o atributos	Agregación (suma) de las áreas productivas (como cultivos, pasturas o zonas productivas mixtas) en franjas determinadas de 100 m. en cada lado de los ríos. Área total de la ronda hídrica de la Fuente abastecedora de interés en la microcuenca. Unidades: Hectáreas.
Fuente de los datos o variables	Secundaria (directo) Imágenes satelitales Corroboración en campo o con actores de la zona.
Criterio de calificación	Directo
Fórmula o metodología de cálculo	(Extensión de las áreas productivas en la ronda hídrica para un año determinado/ Área total de la ronda hídrica de la Fuente abastecedora de interés para un año determinado) * 100

¹⁶ Adaptado del Proyecto: "Análisis de Vulnerabilidad e Implementación de Alertas Tempranas para Sistemas de Abastecimiento de Agua en el Departamento del Cauca– AQUARISC"

IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Nombre	Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)
Código	S. FA. 03
Interpretación como componente de vulnerabilidad	0-10 % Sensibilidad muy baja 11-30 % Sensibilidad Baja 31-50 % Sensibilidad Media 51-70 % Sensibilidad Alta Más de 70 % Sensibilidad Muy Alta
Periodicidad	Puntual, se analizan las áreas para un año definido (Anual). *Podría incluirse un análisis espaciotemporal multianual (dinámico)
Observaciones generales	Un limitante es la disponibilidad de imágenes con resolución detallada para generar los mapas de cobertura y usos del terreno en las cuencas.
Tipo DPEIR	Impacto
Subsistema	Fuente
Escala/unidad de análisis	Microcuenca
Dimensión	Biofísica
Componente	Sensibilidad
CARACTERÍSTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Es pertinente para analizar el impacto de las actividades antrópicas sobre las condiciones físicas y químicas del río, que incrementan la vulnerabilidad por calidad del agua.
Descripción	El índice de calidad del agua permite conocer las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas generales de una corriente superficial, al igual que reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico.
Referencia bibliográfica	NSF. 1970. Basin water quality information references. National Foundation Water Quality index. En: http://bcn.boulder.co.us/Basin/Data/Info/References.html .
Variables o atributos	temperatura, porcentaje de saturación de oxígeno, coliformes fecales, nitratos, DBO5, turbidez, fosfatos, sólidos totales y pH
Fuente de los datos o variables	Primaria: (medición en campo)
Criterio de calificación	Inverso
Rango de calificación	Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA. 90,1-100 Excelente 80,1-90 Aceptable 70,1-80 Levemente contaminada 50,1-70 Contaminada 40,1-50 Fuertemente contaminada 0-40 Excesivamente contaminada
Fórmula o metodología de calculo	$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$ <i>SI_i</i> : Subíndice del Parámetro <i>i</i> <i>W_i</i> : Factor de Ponderación para el Subíndice <i>i</i>
Interpretación como componente de vulnerabilidad	90,1-100 Sensibilidad nula 80,1-90 levemente sensible 70,1-80 Sensible

	45,1-70 Medianamente sensible 0-45 Sensibilidad alta
Periodicidad	Anual Semestral X Trimestral Mensual Diario Otro ___ Cual
Observaciones generales	La periodicidad mínima es semestral acorde al régimen bimodal de las microcuencas estudiadas. Sin embargo, es importante integrar una muestra del período de transición.

IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Nombre	Tasa de Analfabetismo
Código	S.FA.04
tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Fuente
Escala/unidad de análisis	Rural
Dimensión	Económico
Subsistema	Prácticas y hábitos
Componente	Sensibilidad
CARACTERÍSTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Esta variable permite inferir el grado de injerencia de las comunidades sobre el proceso de intervención de las microcuencas, donde si la comunidad en su mayoría es alfabeta, establece un criterio de confianza y sostenibilidad de las acciones de adaptación, basado en el nivel de formación y cultura que tienen las comunidades para asumir los compromisos.
Descripción	Porcentaje de la población total que no sabe leer ni escribir en las veredas objeto de estudio del análisis de vulnerabilidad, estableciendo un criterio de orden social y económico de la zona, para definir el nivel de pobreza y por ende, variables culturales para avanzar en el proceso de intervención de las microcuencas.
Referencia bibliográfica	DANE – Censo Nacional Agropecuario 2013
Variables o atributos	Pt: Población total de la vereda de influencia de la microcuenca Pan: Población analfabeta de la vereda de influencia de la microcuenca
Fuente de los datos o variables	Secundaria
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	Porcentaje
Fórmula o metodología de cálculo	$\frac{\text{Población que no sabe leer ni escribir}}{\text{Población total}} - \frac{\text{Pan}}{\text{Pt}} * 100\%$
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Densidad Poblacional
Código	S.FA.05
tipo DPEIR	Presión
Subsistema	Usuario
Escala/unidad de análisis	Urbano y rural
dimensión	Económico
subsistema	Prácticas y hábitos
componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Esta variable permite inferir el grado de intervención de la población sobre el área rural que converge las unidades productivas de influencia de las microcuencas. Bajo este indicador, se analiza de manera demográfica, el impacto de la población sobre la microcuenca, a partir del uso de unidades productivas en la zona.
Descripción	Porcentaje de la población total que interviene en el área rural de influencia de la microcuenca
Referencia bibliográfica	DANE – Censo Nacional Agropecuario 2013
Variables o atributos	Pt: Población total de influencia de la microcuenca Ar: Area rural de la vereda de influencia de las microcuenca
Fuente de los datos o variables	Secundaria
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	Personas por hectárea (h)
Fórmula o metodología de cálculo	Densidad poblacional= Pt/Ar
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Índice de productividad áreas rurales de intervención microcuenca
Código	S.FA.06
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Usuario
Escala/unidad de análisis	Rural
Dimensión	Económico
Subsistema	Fuente
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Esta variable permite inferir el impacto económico que tiene la producción de las comunidades en las áreas rurales de influencias de microcuencas, definiendo el uso productivo en que se encuentra, mediante el grado de rendimiento productivo que tiene por área de manera anual, evidenciando posteriormente, si tiene o no rangos de sobreexplotación del área.
Descripción	Medición del rendimiento productivo generado en el área rural intervenida de influencia de la microcuenca, mediante la relación de tonelada (1000 kilo) por hectárea (10000 m ²)
Referencia bibliográfica	DANE – Censo Nacional Agropecuario 2013
Variables o atributos	Rt - Rendimiento productivo: Numero de toneladas producidas en el área de intervención de la microcuenca. Ar - Area rural de la vereda de influencia de la microcuenca.
Fuente de los datos o variables	Secundaria
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	Toneladas por hectárea (10000 m ²)
Fórmula o metodología de cálculo	Índice de productividad $I_p = R_t/A_r$
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Percepción sobre cambio climático
Código	S.FA.09
Tipo DPEIR	Direccionador
Calificación en vulnerabilidad	Sensibilidad
Subsistema	Fuente
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Fuente abastecedora
Dimensión	Sociocultural
Subsistema	Prácticas y Hábitos
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Señala como perciben las personas la Fuente abastecedora el cambio climático.
Descripción	El indicador percepción sobre cambio climático busca identificar si el habitante de la microcuenca considera que el cambio climático está ocurriendo actualmente u ocurrirá en el futuro.
Referencia bibliográfica	Construcción Proyecto AQUARISC
Variables o atributos	Se preguntó: ¿El cambio climático está ocurriendo actualmente u ocurrirá en el futuro? Con las siguientes opciones de respuesta: No ocurre/no existe, Está ocurriendo actualmente, ocurrirá en 5 o 20 años y No sabe/no responde
Fuente de los datos o variables	Primaria (Fuente abastecedora)
Criterio de calificación	Se identifica la frecuencia de la pregunta asociada a esta ocurriendo actualmente
Rango de calificación	De 0 a 100%
Fórmula o metodología de calculo	Proporción de la respuesta
Periodicidad	En Presente, retomando posibles cambios de los últimos años

IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Nombre	Coberturas vegetales reguladoras del Ciclo Hidrológico
Código	S.FA.12
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Fuente
Escala/unidad de análisis	Microcuenca
Dimensión	Biofísica
Subsistema	Cobertura Vegetal
Componente	Sensibilidad
CARACTERÍSTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	<p>Esta métrica permite incorporar uno los elementos estructurales que incide de forma directa en las dinámicas locales del ciclo del agua; las coberturas vegetales naturales, favorecen los procesos regulación hídrica que resultan de la interacción entre el suelo, las precipitaciones y caudal de la Fuente abastecedora.</p> <p>Este indicador, permite conocer que tan sensible es el sistema ante las variaciones de los regímenes de lluvias que se presentan en las cuencas, también muestra, si estas unidades ambientales están preparadas para asimilar las variaciones entre las épocas de exceso y déficit, así como los eventos extremos relacionados con la precipitación.</p>
Descripción	Se entiende como el área (porcentaje) que ocupan en la cuenca las coberturas vegetales naturales y los cuerpos de agua que favorecen la regulación hidrológica, la unidad de agregación es la cuenca (Analizada en AQUARISC hasta la zona de captación-Bocatoma).
Referencia bibliográfica	Elaboración propia, considerando los referentes del SIAC, el IDEAM (IDEAM, 2002a, 2002b, 2010) y otros autores (Buytaert et al., 2011; Crespo et al., 2010)
Variables o atributos	<p>Agregación (suma) de las áreas de coberturas reguladoras (como arbustal de paramo, arbustal denso, bosque abierto, bosque denso, bosque galería, herbazal de paramo, pasto arbolado, laguna y río)</p> <p>Área total de la cuenca</p> <p>Unidad: Hectáreas</p>
Fuente de los datos o variables	<p>Secundaria (directo)</p> <p>Imágenes satelitales</p> <p>Corroboración en campo o con actores de la zona.</p>
Criterio de calificación	Inverso, a mayor área de coberturas reguladoras menor sensibilidad.
Rango de calificación	De 0 a 100 (Porcentaje)

	<p>Por cuenca, se puede llevar a porcentajes dividiendo el área total de coberturas reguladoras sobre el área total de la cuenca. % para el valor a considerar en el rango de 0-1 El valor mínimo es 0, mayor 100. Escala de calificación, basada en (Bennett & Saunders, 2010; Jackson et al., 2013; Lindenmayer & Fischer, 2013) 0-10: Crítico 11-30: Muy bajo 31-50 Bajo 51-70: Medio Más de 70: Alto</p>
Fórmula o metodología de calculo	$(\text{Área de coberturas reguladoras en la cuenca para un año determinado} / \text{Área total de la cuenca para un año determinado}) * 100$
Interpretación como componente de vulnerabilidad	0-10: Fuertemente sensible 11-30: levemente sensible 31-50 Sensible 51-70: Sensibilidad Media Más de 70: Sensibilidad baja
Períodicidad	Puntual, se analizan las áreas para un año definido (Anual). *Podría incluirse un análisis espaciotemporal multianual (dinámico)
Observaciones generales	Un limitante es la disponibilidad de imágenes con resolución detallada para generar los mapas de cobertura y usos del terreno en las cuencas.

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Frecuencia de Uso medidas de prevención por algún método de desinfección
Código	CA.FA.10
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Fuente
Escala/unidad de análisis	Hogar
Dimensión	Socio cultural
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Permite conocer con qué frecuencia los habitantes de un hogar usan medidas de prevención a través de medios de desinfección de agua. Todo esto asociado con enfermedades debido al acceso a un agua no segura o derivadas de malos hábitos sanitarios.
Descripción	Esta medición pretende identificar los hábitos, prácticas y comportamientos orientados a la prevención por medios de desinfección del agua en la vida cotidiana

	con la intención de reducir los riesgos existentes.					
Referencia bibliográfica	cita original de metodología					
variables o atributos	Cuál es la medida de prevención de enfermedades del agua que prefiere en su hogar. Indicar solo una respuesta (la más usada):					
	Usted adiciona cloro	Usted adiciona pastillas	Usted adiciona ceniza	Usted hierbe el agua	Otra: cuál?	ninguna
Fuente de los datos o variables	Primaria: (taller o medición en campo)					
Criterio de calificación	Se identifica la medida de prevención más frecuente					
Rango de calificación	0-100					
Fórmula o metodología de calculo	Porcentaje					

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Prácticas productivas sostenibles
Código	CA.FA.11
tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Fuente
Escala/unidad de análisis	Microcuenca
Dimensión	Económica
Subsistema	Productivo
Componente	Capacidad de adaptación
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Identificar las prácticas productivas sostenibles, en términos de la aplicación de los principios y conceptos de la ecología al diseño y manejo de los sistemas agroalimentarios sostenibles.
Descripción	La agricultura es mucho más que una actividad económica diseñada para producir un cultivo y obtener el mayor beneficio posible. La producción incluye componentes ambientales, económicos y sociales. Se identifican practicas productivas de los sistemas agroalimentarios sostenibles.
Fuente de los Datos	Recolección en campo por medio de herramienta (encuesta)

Variables de entrada

Prácticas productivas sostenibles	Siempre	Frecuentemente	A veces	Pocas veces	Nunca
En mi predio uso semillas nativas					
En mi predio uso semillas mejoradas o compradas en tiendas agropecuarias					
Realizo algún manejo ambientalmente amigable en el cultivo.					
Planifico las actividades en mi finca (calendario agrícola, control de costos y pérdidas, registros de ventas, comercialización)					
Realizo obras de conservación de suelo (ej. Barreras vivas, barreras muertas, acequias de ladera, canales, diques)					
Utilizo residuos de cosecha, materiales orgánicos u otros para preparar abonos					
Elaboro sistemas sencillos de tratamientos para las aguas residuales generadas por la cocina, baños, lavaderos, o por actividades de producción.					
Utilizo productos químicos como plaguicidas, herbicidas o precursores en mi predio.					
Uso de insecticidas naturales o productos biológicos para el control de plagas.					
Uso trampas o métodos culturales para el control de plagas					
Protejo las fuentes de agua con vegetación natural					
Realizo aislamiento de zonas de pastoreo o cultivo cercanos a las fuentes de agua.					

Criterio de Calificación

Rango de Calificación

El criterio de evaluación se especifica en el literal variable o atributos

Esta escala será de cinco niveles del tipo:

1=Siempre

2=frecuentemente

	<p>3= a veces 4=pocas veces 5=nunca</p>
Unidad de medida	Nivel de implementación: Muy Implementado (80 – 100%), Implementado (60 – 80%), moderadamente Implementado (40 a 60%), marginalmente Implementado (20 a 40%), no Implementado (>0 a 20%)
Fórmula o Metodología de Calculo	<p>Escala de medición Likert: es un método de pregunta bipolar que mide tanto lo positivo como lo negativo de cada enunciado. Se aplican con 5,7,9,10 grados. En la práctica se usa la de 5 y 7 grados. Se hará un promedio estadístico.</p>
Periodicidad	<p>Anual Semestral</p>

Anexo E. Características de los indicadores para el subsistema Prestador

Proyecto Doctoral: Modelo de Gestión Integral de la Vulnerabilidad en Microcuencas Abastecedoras ante la Variabilidad Climática a Partir de un Enfoque Adaptativo
 Doctorado en Ciencias Ambientales – Universidad del Cauca
 Indicadores del subsistema Prestador¹⁷

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Alternativas de captación con conexión y capacidad
Código	CA.P.01
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Puntual / Prestador
Dimensión	Biofísica
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Es pertinente porque permite conocer las alternativas de captación con conexión y capacidad que presentan los municipios para garantizar a futuro la prestación del servicio de agua. Teniendo presente la posibilidad de requerir el uso de una Fuente alterna ya sea para complementar el abastecimiento o para realizar un cambio total de la ya existente por condiciones que alteren su uso ya sea por calidad o cantidad.
Descripción	Indica mediante categorías la disponibilidad de los municipios de tener Fuentes alternas de captación de agua incluyendo capacidad y conexión.
Referencia bibliográfica	Fuente primaria (Prestador)
Variables o atributos	Disponibilidad de Fuentes alternas de agua destinadas para consumo humano humano.
Fuente de los datos o variables	Prestadores del servicio de agua de los municipios
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	1: No hay alternativas de captación 2: Existe una alternativa con conexión, pero de poca capacidad hídrica 3: Existe una alternativa con conexión, pero de buena capacidad hídrica 4: Existen dos o más alternativas con conexión, pero de poca capacidad hídrica 5: Existen dos o más alternativas con conexión pero de buena capacidad hídrica
Fórmula o metodología	División en 5 categorías (quintiles): 1 – 20%

¹⁷ Adaptado del Proyecto: “Análisis de Vulnerabilidad e Implementación de Alertas Tempranas para Sistemas de Abastecimiento de Agua en el Departamento del Cauca– AQUARISC”

calculo	2 – 40% 3 – 60% 4 – 80% 5 – 100%
Periodicidad	Anual
Interpretación	El valor representa que a mayor cantidad de Fuentes alternas, con conexión y capacidad para abastecimiento se tendrá una mayor capacidad de adaptación ante la variabilidad climática y cambios antrópicos que afectan la disponibilidad del recurso hídrico.

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Instrumentos de gestión (planificación, control de calidad, planes operativos, etc.)
Código	CA.P.02
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámico / Prestador
Dimensión	Infraestructura
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	
Descripción	Indica mediante categorías el nivel de gestión administrativa dentro de la empresa
Referencia bibliográfica	Información secundaria
Variables o atributos	Aplicación de Instrumentos de gestión (planificación, control de calidad, planes operativos, etc.)
Fuente de los datos o variables	Prestador
Criterio de calificación	Directo-cuatro categorías
Rango de calificación	1: No hay instrumentos 2: Si hay, pero no se aplican 3: Se aplican parcialmente 4: Se aplican en su totalidad
Fórmula o metodología de calculo	25%: No hay instrumentos 50%: Si hay, pero no se aplican 75%: Se aplican parcialmente 100%: Se aplican en su totalidad
Periodicidad	Anual
Interpretación	El valor representa que entre mayor sea la gestión administrativa dentro de la empresa Prestadora del servicio de acueducto, tendrá una mayor capacidad de adaptación ante la variabilidad climática, porque será una empresa con mayor nivel organizacional y capacidad de respuesta.

IDENTIFICACION DEL INDICADOR																			
Nombre	Densidad en la articulación de actores																		
Código	CA.P03																		
Tipo DPEIR	Respuesta																		
Subsistema	Prestador																		
Escala/unidad de análisis	Sistema de abastecimiento de agua (transversal)																		
Dimensión	Social																		
Subsistema	Prestador																		
Componente	Capacidad de adaptación																		
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR																			
Pertinencia	Indica las relaciones existentes entre el Prestador y los diferentes actores institucionales y la comunidad en general.																		
Descripción	La conectividad de una red de actores se establece a través de un indicador de densidad que se define como: medida de cohesión de una red social y se refiere fundamentalmente a la cantidad de relaciones observadas en relación con la cantidad de relaciones posibles. (Williner et al (2012), citado por Díaz et al (2017)). En este sentido, una densidad del 100% indica que todos los actores están relacionados; una densidad del 0% indica que todos los actores se encuentran dispersos, es decir, sin relación alguna (WaSerman y Faust (1999) citado por Zarazúa (2014)).																		
Referencia bibliográfica	Díaz et al (2017); Zarazúa (2014)																		
Variables o atributos	Actores del sistema de abastecimiento de agua <table border="1" data-bbox="500 1129 1393 1480"> <thead> <tr> <th>GRADO DE RELACIÓN</th> <th>CONVERSIÓN</th> <th>CAPACIDADES PARA LA PRESTACION DE SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• Relación fuerte de coordinación y colaboración</td> <td>—————</td> <td>Capacidad de facilitar el acceso al recurso hídrico para el consumo humano</td> </tr> <tr> <td>• Relaciones débiles o puntuales</td> <td>- - - - -</td> <td>Capacidad de ejercer control y regulación sobre el abastecimiento de agua potable</td> </tr> <tr> <td>• Relaciones de conflicto</td> <td>.....</td> <td>Capacidad de aportar conocimientos técnicos para que el agua sea apta para consumo humano</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Capacidad económica de invertir en garantizar el recurso hídrico para consumo humano</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Capacidad de implicarse en la conservación del recurso hídrico</td> </tr> </tbody> </table>	GRADO DE RELACIÓN	CONVERSIÓN	CAPACIDADES PARA LA PRESTACION DE SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	• Relación fuerte de coordinación y colaboración	—————	Capacidad de facilitar el acceso al recurso hídrico para el consumo humano	• Relaciones débiles o puntuales	- - - - -	Capacidad de ejercer control y regulación sobre el abastecimiento de agua potable	• Relaciones de conflicto	Capacidad de aportar conocimientos técnicos para que el agua sea apta para consumo humano			Capacidad económica de invertir en garantizar el recurso hídrico para consumo humano			Capacidad de implicarse en la conservación del recurso hídrico
GRADO DE RELACIÓN	CONVERSIÓN	CAPACIDADES PARA LA PRESTACION DE SERVICIO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE																	
• Relación fuerte de coordinación y colaboración	—————	Capacidad de facilitar el acceso al recurso hídrico para el consumo humano																	
• Relaciones débiles o puntuales	- - - - -	Capacidad de ejercer control y regulación sobre el abastecimiento de agua potable																	
• Relaciones de conflicto	Capacidad de aportar conocimientos técnicos para que el agua sea apta para consumo humano																	
		Capacidad económica de invertir en garantizar el recurso hídrico para consumo humano																	
		Capacidad de implicarse en la conservación del recurso hídrico																	
Fuente de los datos o variables	Fuente primaria (entrevistas semiestructuradas)																		
Criterio de calificación	Directo																		
Rango de calificación	Porcentaje: 0% -100%																		
Fórmula o metodología de cálculo	Se identifican los roles que se consideran relevantes para cumplir eficientemente con la prestación del servicio a nivel local. Se establecen los roles en términos de capacidades, se identifica el grado en que se cumplen																		

	<p>dichos roles y se correlaciona el resultado con el estado actual en el que se encuentra el sistema.</p> $D = \frac{r}{n \times 100}$ <p>D= Densidad r= número de vínculos establecidos entre los actores. n= número de vínculos totales que pudieran existir.</p>
Interpretación	<p>Rangos de interpretación:</p> <p>0-20%: Muy Baja relación entre los actores 20-40%: Baja relación entre los actores 40-60%: Medio relación entre los actores 60-80%: Alta relación entre los actores 80-100%: Muy Alta relación entre los actores</p>
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Inversión en infraestructura y tecnologías (incluye la inversión realizada en mantenimiento y reparaciones para la prestación del servicio)
Código	CA.P.05
Tipo DPEIR	Respuesta
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica/Prestador
Dimensión	Económica
Subsistema	Prestador
Componente	Capacidad de adaptación
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Puede reflejar de forma indirecta el estado de la infraestructura del sistema de abastecimiento
Descripción	El indicador puede dar inferencia acerca de la inversión que se da en la infraestructura, para suplir los impactos generados por causa de la exposición a diferentes factores naturales y antrópicos.
Referencia bibliográfica	Prestador
Variables o atributos	Inversión realizada en infraestructura (incluye la inversión realizada en mantenimiento y reparaciones para la prestación del servicio) Inversión realizada total
Fuente de los datos o variables	Prestador
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	Porcentaje: 0 – 100%
Fórmula o metodología de cálculo	$(\text{Inversión realizada en infraestructura} / \text{inversión total}) * 100$
Interpretación	Representa el porcentaje de dinero invertido en infraestructura y tecnologías

	(incluye la inversión realizada en mantenimiento y reparaciones para la prestación del servicio), por parte de la empresa Prestadora del servicio de agua. Entre la inversión sea mayor favorece la capacidad adaptativa del sistema de abastecimiento.
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Eficiencia en la ejecución presupuestal
Código	CA.P.06
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Financiera
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Muestra la eficiencia en la ejecución de los recursos frente al presupuesto, respecto a la prestación del servicio de acueducto de cada uno de los Prestadores
Descripción	Indica el porcentaje de 0% a 100% de ejecución de los recursos frente al presupuesto, respecto a la prestación del servicio de acueducto
Referencia bibliográfica	Información secundaria
Variables o atributos	Recursos ejecutados del Prestador Recursos presupuestados del Prestador
Fuente de los datos o variables	Prestador
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	Porcentaje: 0-100%
Fórmula o metodología de calculo	$(\text{total de recursos ejecutados} / \text{total de recursos presupuestados}) * 100$
Interpretación	Representa el porcentaje de eficiencia en la ejecución de los recursos por parte de la empresa Prestadora del servicio de agua. Entre la eficiencia de ejecución presupuestal sea mayor, favorece la capacidad adaptativa del sistema de abastecimiento.
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Inversión en capacitaciones (educación ambiental, gestión hídrica, etc.)
Código	CA.P.04
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica/Prestador
Dimensión	Económica
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Identificar el porcentaje de recurso utilizado en capacitación en el tema ambiental, gestión hídrica, etc.
Descripción	Inversión en capacitaciones (educación ambiental, gestión hídrica, etc.)
Referencia bibliográfica	Prestador
Variables o atributos	Inversión realizada en capacitaciones Inversión realizada total
Fuente de los datos o variables	Prestador
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	Porcentaje: 0 – 100%
Fórmula o metodología de cálculo	$(\text{Inversión realizada en capacitaciones (educación ambiental, gestión hídrica, etc.)} / \text{inversión total}) * 100$
Interpretación	Representa el porcentaje de dinero invertido en los temas de capacitación ambiental, gestión hídrica, entre otros, por parte de la empresa Prestadora del servicio de agua para consumo humano. Entre la inversión sea mayor favorece la capacidad adaptativa del sistema de abastecimiento.
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Operarios de planta certificados en competencias laborales
Código	CA.P.07
Tipo DPEIR	
Subsistema	Prestador
Escala/unidad de análisis	Prestador
Dimensión	Administrativa
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Permite identificar si han sido certificadas las competencias laborales de los operarios de la empresa Prestadora para desarrollar sus funciones de manera adecuada.

Descripción	Indica el porcentaje de trabajadores de la empresa Prestadora, que se encuentran certificados en competencias laborales.
Referencia bibliográfica	Prestador
VARIABLES o atributos	Número de trabajadores certificados Número de trabajadores totales
Fuente de los datos o variables	Fuente primaria: Prestador
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	0 -100%
Fórmula o metodología de cálculo	$(\text{operarios certificados}/\text{operarios totales}) * 100$
Interpretación	Porcentaje de trabajadores que están certificados en competencias laborales para desarrollar las actividades.
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Percepción de Pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento
Código	S.P.01
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Puntual / Prestador
Dimensión	Infraestructura
Subsistema	
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Es importante reconocer la percepción del Prestador del servicio frente a las pérdidas de agua que se presentan a lo largo del sistema, desde la bocatoma hasta la red de distribución.
Descripción	Indica la percepción de pérdidas que tiene el Prestador del sistema de abastecimiento en tres secciones de Bocatoma a conducción, de entrada a salida en tanque de almacenamiento y en la Red de distribución
Referencia bibliográfica	Información primaria- entrevista Prestador del servicio de agua
VARIABLES o atributos	% de Percepción de Pérdidas de agua de Bocatoma a conducción % de Percepción de Pérdidas de agua de entrada a salida del tanque de almacenamiento % de Percepción de Pérdidas de agua de en la Red de distribución
Fuente de los datos o variables	Prestador
Criterio de	Directo- Porcentaje de 0-100% para cada sección del sistema de

calificación	abastecimiento
Rango de calificación	0 – 100%
Fórmula o metodología de calculo	Ponderacion
Periodicidad	Anual
Interpretación	El valor representa la percepción en porcentaje de las pérdidas en el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano por parte del Prestador, en donde a mayor porcentaje de perdidas mayor sensibilidad ante la variabilidad climática

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Percepción del estado de la infraestructura del acueducto por tramos
Código	S.P.02
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Prestador
Escala T emporal/unidad de análisis	Puntual / Prestador
Dimensión	Infraestructura
Subsistema	
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Es importante reconocer la percepción del Prestador del servicio frente al estado de la infraestructura del acueducto teniendo en cuenta la bocatoma, conducción, tanque de almacenamiento y la red de distribución.
Descripción	Indica la percepción del estado de la infraestructura que tiene el Prestador del sistema de abastecimiento en tres secciones de Bocatoma a conducción, de entrada a salida en tanque de almacenamiento y en la Red de distribución
Referencia bibliográfica	Información primaria- entrevista Prestador del servicio de agua
Variables o atributos	Percepción del estado de la infraestructura del acueducto por tramos (%) % de Percepción del estado de la infraestructura de Bocatoma a conducción % de Percepción del estado de la infraestructura de entrada a salida en desarenador y tanque de almacenamiento % de Percepción del estado de la infraestructura en la Red de distribución
Fuente de los datos o variables	Prestador
Criterio de calificación	Directo- Porcentaje de 0 a 100% dividido en 5 categorías para cada tramo del sistema de abastecimiento
Rango de calificación	0-20%: Muy mal estado 20-40%: Mal estado 40-60%: Regular estado 60-80%: Buen estado

	80-100%: Muy Buen estado
Fórmula o metodología de calculo	Ponderación
Periodicidad	Anual
Interpretación	El valor representa la percepción en porcentaje del estado de la infraestructura del acueducto teniendo en cuenta la bocatoma, desarenador, tanque de almacenamiento y la red de distribución y de manera global el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano por parte del Prestador, en donde a mayor porcentaje el estado de la infraestructura será mejor y por ende menor sensibilidad ante la variabilidad climática.

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Susceptibilidad a la erosión
Código	S P.03
Tipo DPEIR	
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	
Dimensión	Biofísica
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Rango de calificación	Sin Evidencia Ligera Moderada Severa Muy Severa
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Continuidad del Servicio de agua en época de invierno
Código	S.P.04
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Infraestructura
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Mediante la vigilancia de indicadores como la continuidad, se busca impulsar el desempeño y garantizar la óptima inversión de los recursos.

Descripción	<p>El indicador de continuidad se ubica en un alto nivel de importancia dentro del esquema estratégico de mejoramiento del sector de acueducto y saneamiento básico. El incumplimiento de las metas de continuidad cobertura y calidad en los servicios, se consideran alertas de riesgo en la administración de los recursos como el Sistema General de Participación – SGP-, regalías e incluso los recaudos vía tarifas.</p> <p>Para el cálculo del índice se usa la metodología de cálculo que establece la Resolución MPS-MAVDT 2115 de 2007.</p> <p>Dicha metodología considera las horas de prestación continuas del servicio por sector hidráulico, dándole peso a cada sector de acuerdo con el número de suscriptores que se atienden en cada uno de ellos.</p>
Referencia bibliográfica	Prestador – SUI
Variables o atributos	valor de horas continuas de servicio/día en época de invierno
Fuente de los datos o variables	Primaria (Prestador) o secundaria (SUI)
Criterio de calificación	Inverso
Rango de calificación	De 0 a 24 horas x día
Fórmula o metodología de calculo	Número de horas continuas en la prestación del servicio de agua en época de invierno
Interpretación	Expresa la cantidad de horas de prestación del servicio de agua por parte de la empresa Prestadora en época de invierno
Periodicidad	Mensual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Continuidad del Servicio de agua en época de verano
Código	S.P.05
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Infraestructura
Subsistema	Técnico operativo
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Mediante la vigilancia de indicadores como la continuidad, se busca impulsar el desempeño y garantizar la óptima inversión de los recursos.
Descripción	El indicador de continuidad se ubica en un alto nivel de importancia dentro del esquema estratégico de mejoramiento del sector de acueducto y saneamiento básico. El incumplimiento de las metas de continuidad cobertura y calidad en

	<p>los servicios, se consideran alertas de riesgo en la administración de los recursos como el Sistema General de Participación – SGP-, regalías e incluso los recaudos vía tarifas.</p> <p>Para el cálculo del índice se usa la metodología de cálculo que establece la Resolución MPS-MAVDT 2115 de 2007.</p> <p>Dicha metodología considera las horas de prestación continuas del servicio por sector hidráulico, dándole peso a cada sector de acuerdo con el número de suscriptores que se atienden en cada uno de ellos.</p>
Referencia bibliográfica	Prestador – SUI
Variables o atributos	valor de horas continuas de servicio/día en época de verano
Fuente de los datos o variables	Primaria (Prestador) o secundaria (SUI)
Criterio de calificación	Inverso
Rango de calificación	De 0 a 24 horas x día
Fórmula o metodología de calculo	Número de horas continuas en la prestación del servicio de agua en época de verano
Interpretación	Expresa la cantidad de horas de prestación del servicio de agua por parte de la empresa Prestadora en época de verano
Periodicidad	Mensual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Cobertura del servicio
Código	S.P.06
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Infraestructura
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Indica la inversión realizada por el Prestador en infraestructura, para garantizar el acceso a agua. Refleja el porcentaje de usuarios del servicio, en función del número de domicilios.
Descripción	<p>La cobertura reportada es un indicador de los avances en las políticas de desarrollo e inversión en infraestructura por parte de los gobiernos locales y de orden nacional dirigido a satisfacer la necesidad primaria del acceso al agua.</p> <p>Indiscutiblemente el aumento de cobertura y el acceso a los servicios de acueducto y alcantarillado constituye la principal prioridad cuando se trata de</p>

	proyectos de inversión a realizar en el sector de agua para consumo humano y saneamiento básico.
Referencia bibliográfica	Prestador - SUI
VARIABLES O ATRIBUTOS	% de cobertura
Fuente de los datos o variables	Primaria (Prestador) o secundaria (SUI)
Criterio de calificación	Inverso
Rango de calificación	0 a 100%
Fórmula o metodología de cálculo	Porcentaje (%) de cobertura del servicio de agua
Interpretación	Expresa la cantidad de usuarios con servicio de agua en función de la cantidad total de usuarios, esto expresado en porcentaje
Periodicidad	Mensual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Eficiencia de Recaudo
Código	S.P.08
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica/ Prestador
Dimensión	Económica
Subsistema	Administrativo
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Refleja el comportamiento del recaudo, la calidad del proceso de facturación y la efectividad del cobro por parte de la empresa
Descripción	Valor recaudo usuario final: Valor en pesos corrientes de los pagos realizados por los usuarios finales en los últimos doce meSE por concepto de la facturación de ese mismo período de: cargos fijos, consumo humanos, conexión, reconexión, multas, intereseSE de mora y otros. Tipo de información: Caja Valor facturado usuario final: Valor en pesos corrientes de las facturas expedidas para la totalidad de los usuarios en los últimos doce meSE. Incluye cargos fijos, consumo humanos, conexión, reconexión, intereseSE, multas y otros
Referencia bibliográfica	Prestador
VARIABLES O ATRIBUTOS	Valor monetario recaudado Valor monetario facturado
Fuente de los datos o variables	Primaria: Prestador

Criterio de calificación	Inverso
Rango de calificación	Porcentaje: 0 – 100%
Fórmula o metodología de calculo	(Valor recaudado usuario final / Valor facturado usuario final) *100
Interpretación	Expresa la eficiencia del recaudo de la empresa Prestadora del servicio de agua agua, teniendo en cuenta la calidad del proceso de facturación y la efectividad del cobro por el servicio
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Respuesta a peticiones, quejas y reclamos
Código	S.P.09
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Sociocultural
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Monitorear el desempeño que al respecto tienen las empresas, permite determinar el nivel de satisfacción de los usuarios, la calidad de los servicios públicos que ofrecen, y se convierte en una Fuente importante de alertas para la inspección, vigilancia y control.
Descripción	Se desprende de la relación contractual entre los suscriptores y usuarios con la empresa Prestadora de servicios públicos, el derecho de estos a presentar peticiones, quejas y reclamos, que tienen como objeto aclarar y solucionar controversias, inconformidades u otras situaciones que resultan de la prestación del servicio de agua agua para consumo humano humano
Referencia bibliográfica	Prestador
Variables o atributos	Cantidad de respuesta a peticiones, quejas y reclamos del servicio de agua agua para consumo humano humano en 1 año Cantidad de respuesta a peticiones, quejas y reclamos totales en 1 año
Fuente de los datos o variables	Primaria: Prestador
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	Porcentaje: 0-100%
Fórmula o metodología de calculo	(número total de peticiones que corresponden a la prestación del servicio de agua agua para consumo humano humano) / (número total de peticiones) *100
Interpretación	Expresa que porcentaje de las PQRs que ingresan a la empresa, corresponden solo al servicio de agua
Periodicidad	Anual

Anexo F. Características de los indicadores para el subsistema Usuarios

Proyecto Doctoral: Modelo De Gestión Integral De La Vulnerabilidad En Microcuencas Abastecedoras Ante La Variabilidad Climática A Partir De Un Enfoque Adaptativo
 Doctorado en Ciencias Ambientales – Universidad del Cauca
 Indicadores del subsistema Usuarios¹⁸

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Tasa de Analfabetismo
	S.U.01
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Usuario
Escala/unidad de análisis	Urbano y rural
Dimensión	Económico
Subsistema	Usuarios
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Esta variable permite inferir el grado de injerencia de las comunidades sobre el proceso de intervención de la microcuenca, donde si la comunidad en su mayoría es alfabeta, establece un criterio de confianza y sostenibilidad del proyecto, basado en el nivel de formación y cultura que tienen las comunidades para asumir los compromisos del proceso de intervención.
Descripción	Porcentaje de la población total que no sabe leer ni escribir en las veredas objeto de estudio del análisis de vulnerabilidad, estableciendo un criterio de orden social y económico de la zona, para definir el nivel de pobreza y por ende, variables culturales para avanzar en el proceso de intervención de la microcuenca.
Referencia Bibliográfica	DANE – Censo Nacional Agropecuario 2013
Variables o Atributos	Pt: Población total de la vereda de influencia de la microcuenca Pan: Población analfabeta de la vereda de influencia de la microcuenca
Fuente de los Datos o Variables	Secundaria
Criterio de Calificación	Directo
Rango de Calificación	Porcentaje
Fórmula o Metodología de Cálculo	$\frac{\text{Población que no sabe leer ni escribir}}{\text{Población total}} * 100\%$
Periodicidad	ANUAL

¹⁸ Adaptado del Proyecto: “Análisis de Vulnerabilidad e Implementación de Alertas Tempranas para Sistemas de Abastecimiento de Agua en el Departamento del Cauca– AQUARISC”

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Capacidad de pago
Código	S.U.02
Tipo DPEIR	Capacidad adaptativa
Subsistema	Usuario
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Económica
Componente	Sensibilidad
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	La medición de este indicador está sujeto al nivel de confianza en la medición proveniente de la aplicación de las encuestas, donde se considera una variable indirecta de la disponibilidad de pago, entendida en el proyecto para el subsistema de usuarios como capacidad de pago, pues esta capacidad de pago se ve afectada por factores socioeconómicos relacionados con el presupuesto familiar y la percepción del servicio
Descripción	La capacidad de pago mide la cantidad que está dispuesta a pagar el usuario de sus ingresos con destino al pago de servicios de acueducto
Referencia bibliográfica	Información secundaria de las empresas de servicio de acueducto de los Municipios Metodología Cinara 2003
Variables o atributos	Pago del servicio de acueducto Ingreso promedio mensual del usuario
Fuente de los datos o variables	Empresa Prestadora, Superservicios, Emcaservicios, Alcaldía, Contraloría
Criterio de calificación	Moneda – pesos colombianos
Rango de calificación	Valor monetario pesos colombianos
Fórmula o metodología de calculo	Según la metodología del CINARA 2003, la capacidad de pago se estima de la siguiente manera $CP=IPM* 0.01$, donde IPM: Ingreso promedio mensual por familia usuaria del servicio de acueducto. 0.01 corresponde al porcentaje estimado del IPM que puede ser destinado al pago del servicio correspondiente a la potabilización del agua, este porcentaje corresponde al 1%.
Periodicidad	Anual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Índice de Satisfacción del Usuario
Código	S.U.06
tipo DPEIR	Estado y Respuesta
Escala/unidad de análisis	Urbana
Dimensión	Social

Subsistema	Usuarios
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	<p>Este indicador busca valorar la gestión de la empresa Prestadora del servicio de agua, desde la visión del usuario. En este sentido va ligado a la percepción, ya que la impresión que se lleve el usuario sobre la prestación del servicio, es lo que establece finalmente su nivel de satisfacción.</p> <p>Es importante contar con la información de las distintas partes implicadas en el proceso de abastecimiento con el fin de corroborar que los esfuerzos que se estén haciendo o no desde Prestador, finalmente se traducen en un mejor servicio y disposición de agua para consumo humano.</p>
Descripción	<p>Se ha considerado implementar el SERVQUAL, consiste en un método de evaluación de los factores claves para medir la Calidad de los Servicios prestados. El cuestionario SERVQUAL está basado en el modelo clásico de evaluación al cliente, que considera que todo cliente que adquiere un servicio genera unas expectativas del servicio que va a recibir a través de distintos canales y una vez recibido hay una serie de factores, dimensiones, que le permite tener una percepción del servicio recibido. La diferencia entre ambas actitudes es el Índice de Satisfacción del Cliente y es el indicador que se obtiene mediante el tratamiento adecuado de la información que se obtiene al aplicar ésta herramienta de evaluación de la calidad del servicio que es SERVQUAL.</p> <p>Para efectos del proyecto, en lugar de la denominación "cliente", se hablará de Usuario.</p> <p>¿Cómo?</p> <p>Se construye la encuesta a partir de las dimensiones y preguntas orientadoras propuestas por SERVQUAL.</p> <p>Preguntar igualmente aquellos atributos que consideran más importantes para sentirse satisfechos.</p> <p>Se define la muestra</p> <p>Se aplica el instrumento</p> <p>Tratamiento estadístico: Se debe sacar la media y la desviación estándar de cada una de las preguntas de cada dimensión. Luego de valorar cada dimensión y determinar de aquellas de mejor a menor valoradas, se realiza la media aritmética de las cinco dimensiones y se calcula el porcentaje que esta representa de acuerdo a la mayor puntuación en la escala Likert implementada en este caso es 5, y representa. Por ejemplo:</p> <p>...Así pues si el promedio total de los cinco grados arroja una cifra del 3,78, lo que representa un 75,6% respecto al índice ideal "5". La lectura sería que el 75,6% está satisfecho con el servicio según el grado de porcentaje 0-100 de la escala Likert. Es decir 78% está entre 60-80.</p>
Referencia Bibliográfica	Wisniewski, M. (2001). Using SERVQUAL to assess customer satisfaction with public sector services. <i>Managing Service Quality: An International Journal</i> , 11(6), 380-388.
Variables o Atributos	<p>Indicadores del dimensionamiento de la calidad (Dimensiones SERVQUAL):</p> <p>1. Aspectos o elementos tangibles: se refiere a la apariencia de las instalaciones físicas, equipo, personal, material, limpieza, modernidad</p> <p>2.- Fiabilidad:</p>

	<p>Es la habilidad de prestar el servicio en una forma precisa</p> <p>3.- Sensibilidad o capacidad de respuesta: es el deseo de ayudar a los usuarios y prestar el servicio en forma rápida</p> <p>4.- Seguridad: Consiste en tener conocimiento sobre el servicio prestado y cortesía por parte de los empleados, así como la habilidad para transmitir confianza al usuario.</p> <p>5.- Empatía: Es la capacidad de prestar atención individualizada a sus clientes</p>
Fuente de los datos o variables	PRIMARIA. Aplicación del instrumento a una muestra aleatoria.
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	<p>RSC=Rango de Satisfacción del Cliente:</p> <p>1-totalmente insatisfecho RSC= 0-20%</p> <p>2.-insatisfecho RSC=20-40%</p> <p>3.-ni satisfecho ni insatisfecho RSC=40-60%</p> <p>4.-satisfecho RSC=60-80%</p> <p>5.-totalmente satisfecho RSC=80-100%</p>
Fórmula o metodología de cálculo	Se debe sacar la mediana de cada pregunta medida con la escala likerth de 1-5. Y luego se saca la mediana nuevamente para determinar la satisfacción general.
Periodicidad	Anual
Interpretación como componente de vulnerabilidad.	Directo
Observaciones generales	El procedimiento va más allá del porcentaje, llega hasta calcular el índice que es + o -, es decir mayor-menor calidad del servicio.
IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Reconocimiento del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano municipal por parte del usuario.
Código	S.U.07
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Usuario
Escala/unidad de análisis	Rural
Dimensión	Social y cultural
Subsistema	Usuarios
Componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Se considera que el sistema de abastecimiento puede ser más o menos vulnerable en la medida que los usuarios conozcan que éste funciona de manera integral, y que por tanto la escasez de agua para consumo humano es responsabilidad de todos los que hacemos parte del sistema.
Descripción	Este indicador permite conocer la percepción del usuario respecto a la

	<p>definición y composición del sistema de abastecimiento de agua Para ello se establece un cuestionario considerando la definición del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano humano que construyó el proyecto AQUARISC en la fase de diagnóstico y análisis documental; en el cual se plantean los cuestionamientos con el fin de determinar si percibe o no que el sistema funciona según se define: (...)en el presente proyecto se define el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano humano en torno a su función y estructura de la siguiente manera: Se entiende que el Sistema de Abastecimiento de Agua es aquel que provee a los usuarios el servicio de agua para consumo humano humano, considerando la disponibilidad y garantizando la cobertura, la calidad y continuidad del agua tratada; contemplando un ciclo virtuoso de relacionamiento multidireccional del sistema para el manejo sostenible del recurso hídrico. Dicho sistema está conformado por tres subsistemas a saber: a) Fuente, b) Prestador y c) usuario.</p>																																																												
Referencia bibliográfica	Documento conceptual proyecto AQUARISC: "Marco de Referencia Científico Tecnológico sobre la vulnerabilidad del recurso hídrico"																																																												
Variables o atributos	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="537 913 1144 1073"></th> <th data-bbox="1144 913 1224 1073">Totalmente en desacuerdo</th> <th data-bbox="1224 913 1279 1073">En desacuerdo</th> <th data-bbox="1279 913 1334 1073">Neutral</th> <th data-bbox="1334 913 1390 1073">De acuerdo</th> <th data-bbox="1390 913 1466 1073">Totalmente de acuerdo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="537 1073 1144 1142">Reconocimiento del sistema de abastecimiento por parte el usuario</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1142 1144 1211">Como usuario, debería participar con el acueducto de su municipio en la aprobación del régimen tarifario.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1211 1144 1281">El acueducto es el único responsable de que el agua llegue de manera permanente a su hogar.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1281 1144 1350">La calidad del agua que llega a su casa depende de cómo se cuida el río.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1350 1144 1419">El usuario puede realizar acciones para mejorar el servicio de acueducto de su municipio.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1419 1144 1488">Los usuarios pueden vigilar la gestión de su acueducto.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1488 1144 1558">El agua se toma del río y se debe tratar para poder consumirla.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1558 1144 1627">El acueducto cobra por llevar el agua hasta su casa.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td data-bbox="537 1627 1144 1696">El valor que usted paga en la factura es por el agua que se saca del río para llevarla a su hogar.</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>		Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	Reconocimiento del sistema de abastecimiento por parte el usuario						Como usuario, debería participar con el acueducto de su municipio en la aprobación del régimen tarifario.						El acueducto es el único responsable de que el agua llegue de manera permanente a su hogar.						La calidad del agua que llega a su casa depende de cómo se cuida el río.						El usuario puede realizar acciones para mejorar el servicio de acueducto de su municipio.						Los usuarios pueden vigilar la gestión de su acueducto.						El agua se toma del río y se debe tratar para poder consumirla.						El acueducto cobra por llevar el agua hasta su casa.						El valor que usted paga en la factura es por el agua que se saca del río para llevarla a su hogar.					
	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo																																																								
Reconocimiento del sistema de abastecimiento por parte el usuario																																																													
Como usuario, debería participar con el acueducto de su municipio en la aprobación del régimen tarifario.																																																													
El acueducto es el único responsable de que el agua llegue de manera permanente a su hogar.																																																													
La calidad del agua que llega a su casa depende de cómo se cuida el río.																																																													
El usuario puede realizar acciones para mejorar el servicio de acueducto de su municipio.																																																													
Los usuarios pueden vigilar la gestión de su acueducto.																																																													
El agua se toma del río y se debe tratar para poder consumirla.																																																													
El acueducto cobra por llevar el agua hasta su casa.																																																													
El valor que usted paga en la factura es por el agua que se saca del río para llevarla a su hogar.																																																													
Fuente de los datos o variables	Información primaria a través de encuesta																																																												
Criterio de calificación	Directo																																																												
Rango o escala de calificación	1.-Muy bajo = 0-20% 2.-Bajo=20-40% 3.-Medio=40-60% 4.-Alto=60-80%																																																												

	5.-Muy alto=80-100%
Fórmula o metodología de cálculo	<p>Escala de medición Likert: es un método de pregunta bipolar que mide tanto lo positivo como lo negativo de cada enunciado. Se aplican con 5,7,9,10 grados. En la práctica se usa la de 5 y 7 grados. Para este caso se utiliza:</p> <p>1=Completamente de acuerdo 2=De acuerdo 3=No sabe 4=En desacuerdo 5=Completamente de acuerdo</p> <p>Se debe sacar la mediana de cada pregunta medida con la escala likerth de 1-5. Y luego se saca la mediana nuevamente para determinar la satisfacción general.</p>
Periodicidad	ANUAL
Interpretación como componente de vulnerabilidad.	Directo

IDENTIFICACIÓN DEL INDICADOR	
Nombre	Ingresos de los usuarios (promedio mensual)
Código	S.U.03
Tipo DPEIR	Capacidad adaptativa
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Económica
Subsistema	Usuarios
Componente	Sensibilidad
CARACTERÍSTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	La medición de este indicador está sujeto al nivel de confianza en la medición proveniente de la aplicación de las encuestas, donde se considera una variable directa de la disponibilidad de pago, entendida como los ingresos del usuario, puesto que a mayor nivel de ingreso, mayor será su capacidad de pago del recurso hídrico
Descripción	Identifica el rango de ingresos que de acuerdo a su situación económica, devengan
Referencia bibliográfica	Información secundaria- Índice de pobreza multidimensional de Cauca vigencia 2017 del DANE
Variables o atributos	Pobreza extrema para una persona: Menos de 208.636 Pobreza extrema para una familia de 4 personas: Menos de 431.804 pesos Pobreza para una familia de 4 personas: Menos de \$834.544 pesos No pobreza para una familia de 4 personas: Mayor de \$834.544 pesos
Fuente de los datos o variables	Empresa Prestadora, Superservicios, Emcaservicios, Alcaldía, Contraloría
Criterio de calificación	Moneda – pesos colombianos

Rango de calificación	Pesos promedio mensual Pobreza extrema para una persona Pobreza extrema para una familia de 4 personas Pobreza para una familia de 4 personas No pobreza para una familia de 4 personas
Fórmula o metodología de cálculo	Valor monetario identificado por el mayor porcentaje que identifica al usuario
Periodicidad	Mensual
IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Autoconocimiento del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano municipal por parte del usuario.
Código	S.U.04
Tipo DPEIR	Estado
Subsistema	Usuario
Escala/unidad de análisis	Rural
Dimensión	Social y cultural
Componente	Capacidad de adaptación
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Se considera que el sistema de abastecimiento puede ser más o menos vulnerable en la medida que los usuarios conozcan que éste funciona de manera integral, y que por tanto la escasez de agua para consumo humano es responsabilidad de todos los que hacemos parte del sistema.
Descripción	Este indicador permite conocer la percepción del usuario respecto a la definición y composición del sistema de abastecimiento de agua Para ello se establece un cuestionario considerando la definición del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano que construyó el proyecto AQUARISC en la fase de diagnóstico y análisis documental; en el cual se plantean los cuestionamientos con el fin de determinar si percibe o no que el sistema funciona según se define: (...)en el presente proyecto se define el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en torno a su función y estructura de la siguiente manera: Se entiende que el Sistema de Abastecimiento de Agua es aquel que provee a los usuarios el servicio de agua para consumo humano, considerando la disponibilidad y garantizando la cobertura, la calidad y continuidad del agua tratada; contemplando un ciclo virtuoso de relacionamiento multidireccional del sistema para el manejo sostenible del recurso hídrico. Dicho sistema está conformado por tres subsistemas a saber: a) Fuente, b) Prestador y c) usuario.
Referencia bibliográfica	Documento conceptual proyecto AQUARISC: "Marco de Referencia Científico Tecnológico sobre la vulnerabilidad del recurso hídrico"
Variables o atributos	a) Fuente abastecedora de agua para consumo humano Es el territorio que provee el servicio ambiental de abastecimiento de agua en una región, comprende un cauce principal de captación y el espacio aledaño donde se interrelacionan procesos biofísicos y socioculturales que determinan la oferta de agua en cantidad y calidad para consumo humano. Espacialmente, está localizado entre la parte alta de la microcuenca y la bocatoma

	<p>b) Prestador del servicio de agua para consumo humano El Prestador es aquella figura jurídica encargada de garantizar la disponibilidad, cobertura, continuidad y calidad (características fisicoquímicas, microbiológicas) de agua para consumo humano humano, siguiendo los parámetros normativos y lineamientos de control para la prestación del servicio (Ley 142 de 1994, Resolución 2115, Decreto 1575, mapa de riesgo, PGIRH, entre otros.), asegurando la eficiencia tanto en los procesos operativos como administrativos.</p> <p>c) Usuarios Todo aquel, que, de manera individual o colectiva, se beneficia con el servicio público de suministro de agua a través de un Prestador, para uso público o privado en concordancia con la normativa del sector (sujeto a derechos y obligaciones de ley), como suscriptor o como receptor directo del servicio.</p>
Fuente de los datos o variables	Información primaria a través de encuesta con escala likert
Criterio de calificación	<p>Escala likerth de 1 a 5, siendo 1 en total desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo.</p> <p>1=Completamente de acuerdo 2=De acuerdo 3=No sabe 4=En desacuerdo 5=Completamente de acuerdo</p>
Rango o escala de calificación	0-100
Periodicidad	Estado actual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Iniciativas del comité de desarrollo y control social (CDCS) relacionadas con el Servicio de Acueducto.
Código	CA.U.01
tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Usuario
Escala/unidad de análisis	Rural
Dimensión	Institucional
Subsistema	Control y seguimiento
Componente	Capacidad de adaptación
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	<p>Con esta métrica se pretende analizar accionar de los comités de desarrollo y control social (CDCS) como mecanismo de seguimiento y vigilancia; esta métrica está orientada a evaluar tanto la i) existencia como ii) las acciones adelantadas desde estas instancias en el servicio público de acueducto (SP. Acueducto).</p> <p>La existencia de CDCS y el desarrollo de acciones entorno al SP. Acueducto, genera una mejor capacidad de adaptación del sistema desde el subsistema usuario ante las eventualidades de desabastecimiento ya que esta interacción</p>

	permite adelantar acciones correctivas y preventivas sobre fallas asociadas con la prestación del servicio, en esas acciones deben involucrarse de manera activa a las partes que tienen injerencia en la resolución de las problemáticas reportadas.
Descripción	Los CDCS son resultado del proceso de participación y democratización de la administración del estado, hacen parte de la función ciudadana para intervenir en el control de la gestión pública de forma complementaria a los órganos de control del Estado. En este sentido los CDCS, son un mecanismo activo de participación ciudadana que permiten acompañar y monitorear la prestación de los servicios públicos como determinantes del bienestar social; por ello, es de interés para el proyecto conocer las acciones que se acometan desde estas instancias respecto a la temática de interés (SP. Acueducto).
Referencia bibliográfica	Elaboración propia (basado en referencias consultadas).
VARIABLES O ATRIBUTOS	# Acciones adelantadas por los CDCS en Servicios Públicos (SP) - Año # Acciones adelantadas por los CDCS en SP Acueducto -Año
Fuente de los datos o variables	Secundaria (directo) Personería municipal (o dependencia encargada labores de control social) Casa del Vocal Prestador servicio de acueducto
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	De 0 a 100 (Porcentaje) Se emplearía como umbral máximo el # Acciones adelantadas por los CDCS en SP - Año
Fórmula o metodología de cálculo	$(\# \text{ Acciones adelantadas por los CDCS en SP agua -Año} / \# \text{ Acciones adelantadas por los CDCS en SP - Año}) * 100$
Periodicidad	Anual (dinámico)

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Percepción de continuidad del servicio de agua por parte de los usuarios
Código	S.U.05
Tipo DPEIR	Sensibilidad
Subsistema	Prestador
Escala temporal/unidad de análisis	Dinámica / Prestador
Dimensión	Infraestructura
Subsistema	Usuarios
Componente	Técnico operativo

CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia con el proyecto	Señala como perciben los usuarios la continuidad de servicio de agua. Mediante la vigilancia de indicadores como la continuidad, se busca impulsar el desempeño y garantizar la óptima inversión de los recursos.
Descripción	El indicador de continuidad se ubica en un alto nivel de importancia dentro del esquema estratégico de mejoramiento del sector de acueducto y saneamiento básico. El incumplimiento de las metas de continuidad cobertura y calidad en los servicios, se consideran alertas de riesgo en la administración de los recursos como el Sistema General de Participación – SGP-, regalías e incluso los recaudos vía tarifas. Para el cálculo del índice se usa la metodología de cálculo que establece la Resolución MPS-MAVDT 2115 de 2007. Dicha metodología considera las horas de prestación del servicio por sector hidráulico, dándole peso a cada sector de acuerdo con el número de suscriptores que se atienden en cada uno de ellos.
Referencia bibliográfica	Prestador – SUI
Variables o atributos	valor correspondiente a la continuidad, que está dado en horas de servicio/día
Fuente de los datos o variables	Primaria (Prestador) o secundaria (SUI)
Criterio de calificación	Directo
Rango de calificación	De 0 a 24 hxdía
Fórmula o metodología de calculo	0: No hay información del estado del servicio 1: Servicio 0 a 10 hxdía 2: Servicio de 10.1 a 18xdía 3: Servicio de 18.1 a 23 hxdía 4: Servicio de 23.1 a 24hxdía
Periodicidad	Mensual

IDENTIFICACION DEL INDICADOR	
Nombre	Densidad en la red de actores
Código	CA.U.05
Tipo DPEIR	Respuesta
Subsistema	Usuario
Escala/unidad de análisis	Sistema de abastecimiento de agua para consumo humano y subsistemas Fuente, Prestador y usuario (transversal)
Dimensión	Social
Subsistema	Capital Social
componente	Capacidad adaptativa
CARACTERISTICAS DEL INDICADOR	
Pertinencia	Indica las relaciones existentes entre los diferentes actores que tienen relevancia frente al sistema de abastecimiento de agua. En este sentido es necesario conocer el grado de conectividad, dado que ello está ligado a los

	flujos de información al interior del sistema. Generando así posibles respuestas de adaptación a diferentes escenarios que se puedan presentar.								
Descripción	La conectividad de una red de actores se establece a través de un indicador de densidad que se define como: medida de cohesión de una red social y se refiere fundamentalmente a la cantidad de relaciones observadas en relación con la cantidad de relaciones posibles. (Williner et al (2012), citado por Díaz et al (2017)). En este sentido, una densidad del 100% indica que todos los actores están relacionados; una densidad del 0% indica que todos los actores se encuentran dispersos, es decir, sin relación alguna (WaSErman y Faust (1999) citado por Zarazúa (2014)).								
Referencia	Díaz et al (2017); Zarazúa (2014)								
Variables o atributos	Actores clave del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano, tipos de relaciones. Los actores clave del sistema de abastecimiento son particulares de cada municipio. Tipos de relaciones: <table border="1" data-bbox="565 772 1425 1073"> <thead> <tr> <th colspan="2">TIPO DE RELACIONES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A. Facilitan el acceso al recurso hídrico para el consumo humano</td> <td>B. Aportan recursos económicos para garantizar el recurso hídrico para consumo humano</td> </tr> <tr> <td>C. Ejercen control y regulación sobre el abastecimiento de agua para consumo humano</td> <td>D. Se implica en la conservación del recurso hídrico</td> </tr> <tr> <td>E. Aportan conocimientos técnicos para que el agua sea apta para consumo humano</td> <td>F. Promueven iniciativas en términos del cuidado y buen uso del agua</td> </tr> </tbody> </table>	TIPO DE RELACIONES		A. Facilitan el acceso al recurso hídrico para el consumo humano	B. Aportan recursos económicos para garantizar el recurso hídrico para consumo humano	C. Ejercen control y regulación sobre el abastecimiento de agua para consumo humano	D. Se implica en la conservación del recurso hídrico	E. Aportan conocimientos técnicos para que el agua sea apta para consumo humano	F. Promueven iniciativas en términos del cuidado y buen uso del agua
TIPO DE RELACIONES									
A. Facilitan el acceso al recurso hídrico para el consumo humano	B. Aportan recursos económicos para garantizar el recurso hídrico para consumo humano								
C. Ejercen control y regulación sobre el abastecimiento de agua para consumo humano	D. Se implica en la conservación del recurso hídrico								
E. Aportan conocimientos técnicos para que el agua sea apta para consumo humano	F. Promueven iniciativas en términos del cuidado y buen uso del agua								
Fuente de los datos o variables	Fuente primaria, mediante herramienta construida para tal fin (AQUARISC 2018)								
Criterio de calificación	Directo								
Rango de calificación	Porcentaje: de 0 a 100% Rangos de interpretación: 0-20%: Muy Baja relación entre los actores 20-40%: Baja relación entre los actores 40-60%: Medio relación entre los actores 60-80%: Alta relación entre los actores 80-100%: Muy Alta relación entre los actores								
Fórmula o metodología de cálculo	$D = \frac{r}{n*100}$ D= Densidad r= número de vínculos establecidos entre los actores n= número de vínculos totales que pudieran existir.								
Periodicidad	Anual								
Interpretación como componente de vulnerabilidad	Directo								

Anexo G. Cálculo matricial de la vulnerabilidad por subsistema

Fuente

Áreas Productivas en rondas hídricas (Recalcular)	Erosión Fuente Abastecido	Índice de Calidad del Agua	Tasa de alfabetismo	Densidad poblacional	Índice de productividad	Percepción cambio climático	Coberturas Vegetales reguladoras del Ciclo Hidrológico	Frecuencia medidas de prevención enfermedades por método de desinfección	Prácticas productivas sostenibles	Uso eficiente del agua	CÁLCULO CON MEDIANA SIN ESTANDARIZAR	
S.FA.01	S.FA.02	S.FA.03	S.FA.04	S.FA.05	S.FA.06	S.FA.09	S.FA.12	CA.FA.10	CA.FA.11	CA.FA.13	MED. SENSI.	MED. C.A.
0,09	0,67315781	0,33	0,37	0,13	0,16	0,12	0,17	0,6	0,87	0,87	0,165	0,87

Prestador

Percepción de Pérdidas de agua en el sistema de abastecimiento (%)	Percepción de la infraestructura del acueducto por tramos (%)	Suceptibilidad a la erosión	Continuidad del servicio en época invierno	Continuidad del servicio en época verano	Cobertura del servicio	Eficiencia de recaudo	Numero de PQR por entidad prestadora (anual)	Alternativas de captación con conexión y capacidad	Instrumentos de gestión (planificación, control de calidad, planes operativos, etc.)	Densidad en la articulación de actores	Inversión en capacitaciones (educación ambiental, gestión hídrica, etc.)	Inversión en infraestructura y tecnologías (incluye la inversión realizada en mantenimiento y reparaciones para la prestación del servicio)	Eficiencia en la ejecución presupuestal	Operarios de planta certificados en competencias laborales	CÁLCULO CON MEDIANA SIN ESTANDARIZAR	
S.P.01	S.P.02	S.P.03	S.P.04	S.P.05	S.P.06	S.P.08	S.P.09	CA.P.01	CA.P.02	CA.P.03	CA.P.04	CA.P.05	CA.P.06	CA.P.07	MED. SENSI.	MED. C.A.
0,05	0,40	0,16	0,25	0,08	0,25	0,10	0,5	0,1	0,75	0,62	0,6	0	0,03	0,33	0,205	0,33

Usuario

Tasa de alfabetismo	Capacidad de pago	Ingresos de los usuarios (promedio mensual)	Autopercepción del nivel de información sobre cambio climático.	Percepción de continuidad del servicio de agua potable por parte de los usuarios	Satisfacción del usuario (%)	Reconocimiento del sistema de abastecimiento de agua potable municipal por parte del usuario.	Existencia de estrategias de Uso Eficiente y Ahorro del Agua en las instituciones públicas del municipio (Programas o similares).	Prácticas sanitarias	Uso eficiente del agua en hogares	Densidad en la articulación de actores	CÁLCULO CON MEDIANA SIN ESTANDARIZAR	
S.U.01	S.U.02	S.U.03	S.U.04	S.U.05	S.U.06	S.U.07	CA.U.02	CA.U.03	CA.U.04	CA.U.05	MED. SENSI.	MED. C.A.
0,37	0,2	0,9	0,52	0,01	0	0,25	0,5	0,9	0,75	0,62	0,25	0,685

Anexo H. Índices de calidad de agua

Índice de de Calidad de Agua (ICA). Esta conformado por variables fisicoquímicas y biológicas orientado al agua para consumo humano humano

CODIGO DEL PUNTO	1	NOMBRE DEL PUNTO	Rio Molino (Acueducto Aires del campo)		
PARAMETRO	RESULTADO LABORATORIO	UNIDADES	Q	W	SUBTOTAL
OXIGENO DISUELTO	98,12	% SATURACION	99	0,17	16,83
COLIFORMES FECALES	850	U/100ml	24	0,15	3,6
pH	7,18	UNIDADES	88	0,12	10,56
DBO5	2,47	mg/L	80	0,1	8
TEMPERATURA	16,9	°C	29	0,1	2,9
FOSFATOS TOTALES	1	mg/L	40	0,1	4
NITRATOS	4,61	mg/L	70	0,1	7
TURBIDEZ	2,89	NTU	93	0,08	7,44
SOLIDOS TOTALES	30,2	mg/L	85	0,08	6,8
SUMATORIA TOTAL				calidad media	67,13

Índice De Contaminación Por Sólidos Suspendidos ICOSUS. Permiten cuantificar el grado de contaminación de las aguas respecto a su condición general y no a contaminantes específicos

NOMBRE DEL PUNTO	SOLIDOS SUSPENDIDOS mg/L	ICOSUS	Grado de contaminación
Rio Molino	30,20	0,07	ninguno

Índice De Contaminación Por Materia Orgánica ICOMO. Conformado por demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno

NOMBRE DEL PUNTO	RESULTADOS LABORATORIO			I-DBO5		I-COL.TOT		I-%OXIG	ICOMO	GRADO DE CONTAMINACION
	DBO5 (mg/L)	COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	PORCENTAJE DE SATURACION DE OXIGENO (%)	LOG DBO5	I-DBO5	LOG COL TOT	I-COL.TOT			
Rio Molino	2,47	1950,00	98,12	0,39269695	0,22488787	3,29003461	0,40241938	0,0188	0,22	Bajo