



**PROYECTO MANEJO SOSTENIBLE Y CONSERVACION DE LA BIODIVERSIDAD EN LA  
CUENCA DEL RIO MAGDALENA**

**CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA NO REEMBOLSABLE (FMAM)**

**No. ATN/FM-15981-CO**

**ELEMENTOS CONCEPTUALES Y  
DESARROLLO METODOLÓGICO  
MODELAMIENTO COMPONENTE 2  
GESTIÓN DE LA SALUD DE LOS  
ECOSISTEMAS**

**Autores: Beatriz Hernández**

**Nelson Obregón Neira**

**Mayo/2018**





## RESUMEN

En el marco del Proyecto “Manejo Sostenible y Conservación de la Biodiversidad Acuática en la cuenca Magdalena – Cauca”, cuyo objetivo general es el de contribuir a la conservación y uso sostenible de ecosistemas dulceacuícolas y su biodiversidad en la cuenca Magdalena – Cauca, mediante la protección de hábitats prioritarios, la mejora de la salud de los ecosistemas y el fortalecimiento de la gobernanza y las capacidades locales; se ha contratado por medio de la entidad ejecutora, Fundación Natura, la consultoría para el desarrollo de las rutas a seguir en el desarrollo y cumplimiento de metas en el **Componente 2. Gestión de la Salud de los Ecosistemas**. Para ello la presente consultoría desarrollará 3 productos los que estarán supervisados por la Fundación Natura y presentados con los socios estratégicos del proyecto.

El presente informe es el documento final de la consultoría, aquí se muestra el compilado de los tres productos entregados y ajustados de acuerdo a las correcciones y aportes dados desde la supervisión del contrato y a los alcances detallados en los términos de referencia para la consultoría, para cada uno de ellos, los cuales se muestran en la sección denominada Plan de Trabajo.

A continuación se describen los títulos y descriptores de cada uno de los capítulos del presente documento: Capítulo 1 MARCO DE REFERENCIA Y METODOLOGIA DE LA CONSULTORÍA, en el que se dará un contexto del proyecto y la ruta a seguir para el desarrollo del producto 1 y la consultoría, todo ello en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), los objetivos de desarrollo sostenible y siguiendo la experiencia a nivel mundial de los proyectos de ecohidrología, es un capítulo propuesto por la consultoría, con el ánimo de identificar la fortaleza de un enfoque ecohidrológico en el desarrollo del modelamiento del componente 2. En el Capítulo 2 ESTADO DEL CONOCIMIENTO, INVENTARIO Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN, se indicarán los estudios llevados a cabo en los sitios sugeridos para el desarrollo del proyecto, adicionalmente de los realizados en la Macrocuenca Magdalena-



Cauca, todos ellos clasificados de acuerdo con la metodología presentada en el Capítulo 1. En el capítulo 3 se presenta el ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO, allí se muestra el diseño del marco teórico y conceptual de los modelos más apropiados y pertinentes, que permitan conocer la situación y las tendencias del régimen hidrológico, la calidad del recurso hídrico, el estado de los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos relacionados. En el capítulo 4 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LA MODELACION ECOHIDROLÓGICA DEL COMPONENTE 2 GESTIÓN DE LA SALUD DE LOS ECOSISTEMAS se indican las fases para la ejecución del componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) del proyecto GEF-Magdalena y su asociación con los otros dos compontes. De acuerdo con los análisis de información existente y planeamiento de los alcances de modelación en cada uno de los sitios de estudio el Capítulo 5 ALCANCE DE LA MODELACIÓN, EQUIPOS DE TRABAJO Y ESCENARIOS PRESUPUESTALES indica el costo de acuerdo a escenario de desarrollo, en ellos de planean diferentes tipos de contratación y profesionales. Dados los escenarios presupuestales en el Capítulo 6 ESPECIFICACIONES PARA EL EQUIPO DE TRABAJO, se muestran los perfiles de los profesionales que se proponen deben conformar el equipo de trabajo. El Capítulo 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES indica de manera resumida las principales sugerencias a considerar en el desarrollo del ejercicio de modelación ecohidrológica del componente 2 del proyecto GEF-Magdalena. Por último, el capítulo 8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS IMPORTANTES, contiene el material de consulta utilizado en el desarrollo de esta consultoría.





## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>MARCO DE REFERENCIA Y METODOLOGIA DE LA CONSULTORÍA .....</b>	<b>16</b>
1.1	CONTEXTO DEL PROYECTO.....	16
1.1.1	<i>Complejo Cenagoso de Ayapel.....</i>	<i>19</i>
1.1.2	<i>Complejo Cenagoso de La Zapatosa.....</i>	<i>19</i>
1.1.3	<i>Cuenca Río La Vieja.....</i>	<i>20</i>
1.1.4	<i>Principales amenazas en los hidrosistemas seleccionados .....</i>	<i>25</i>
1.2	MARCO CONCEPTUAL EN EL QUE SE SOPORTA LA ACTUAL CONSULTORÍA.....	29
1.3	METODOLOGÍA PROPUESTA Y ENFOQUE METODOLÓGICO.....	32
1.3.1	<i>Aproximación para la implementación de los principios de la ecohidrología en la gestión integrada del recurso hídrico .....</i>	<i>36</i>
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL CONOCIMIENTO, INVENTARIO Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN</b>	<b>41</b>
2.1	GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	41
2.1.1	<i>Inventario de la información .....</i>	<i>49</i>
2.1.2	<i>Estado del inventario y actividades para complementar el inventario .....</i>	<i>57</i>
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.....</b>	<b>61</b>
3.1	ELEMENTOS CONCEPTUALES .....	61
3.1.1	<i>El concepto de ecohidrología .....</i>	<i>61</i>
3.1.2	<i>El pulso de inundación .....</i>	<i>64</i>
3.1.3	<i>Sistema Socioecológico .....</i>	<i>65</i>
3.2	ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA- EXPERIENCIA DE MODELAMIENTO EN LA MCMC .....	67
3.3	LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA MODELACIÓN ECOHIDROLÓGICA.....	72
3.3.1	<i>Generación de modelos matemáticos-computacionales .....</i>	<i>73</i>
3.3.2	<i>Implementar protocolos de modelación de enfoque positivista y base físico-biológico-químico (modelos de primera generación) .....</i>	<i>75</i>
3.3.3	<i>Implementar protocolos de monitoreo de agua.....</i>	<i>82</i>





3.3.4	<i>Indicadores de monitoreo biológico</i> .....	86
3.4	PROTOCOLO DE MODELACIÓN Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE LOS CUATRO PASOS PARA EL CASO DE LA CIÉNAGA DE AYAPEL .....	95
3.4.1	<i>Primer paso: Monitoreo de amenazas</i> .....	95
3.5	PROTOCOLO DE MODELACIÓN Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE LOS CUATRO PASOS PARA EL CASO DE LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA .....	106
3.5.1	<i>Primer paso: Monitoreo de amenazas</i> .....	106
3.6	PROTOCOLO DE MODELACIÓN Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE LOS CUATRO PASOS PARA EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA.....	110
3.6.1	<i>Primer paso: Monitoreo de amenazas</i> .....	111
3.7	PROPUESTA DE MODELOS A IMPLEMENTAR .....	116
3.7.1	<i>Descripción general del modelo hidrológico de referencia</i> .....	117
3.7.2	<i>Descripción general del modelo hidrodinámico de referencia</i> .....	117
<b>4</b>	<b>PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LA MODELACION ECOHIDROLÓGICA DEL COMPONENTE 2 GESTIÓN DE LA SALUD DE LOS ECOSISTEMAS</b>	<b>122</b>
4.1	ETAPAS DE DESARROLLO DE LA MODELACIÓN ECOHIDROLOGICA DEL COMPONENTE 2 .....	125
4.1.1	<i>Preliminares</i> .....	127
4.1.2	<i>Fase 1 Modelos piloto y primeros resultados</i> .....	127
4.1.3	<i>Fase 2 Monitoreo y posproceso</i> .....	132
4.1.4	<i>Fase 3 Refinamiento de modelos</i> .....	134
4.1.5	<i>Fase 4 Lineamientos de uso, manejo y conservación para la planificación ambiental territorial</i> 135	
4.1.6	<i>Fase 5 Análisis integral y resultados</i> .....	135
4.2	EQUIPO DE TRABAJO .....	142
4.3	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	143
4.4	TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO .....	143
4.5	ARTICULACIÓN DEL MODELAMIENTO A LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO .....	145
<b>5</b>	<b>ALCANCE DE LA MODELACIÓN, EQUIPOS DE TRABAJO Y ESCENARIOS PRESUPUESTALES</b> .....	<b>149</b>





5.1	ALCANCE DE MODELACIÓN ECOHIDROLÓGICA-ECOHIDRÁULICA EN CADA SITIO	
	149	
5.1.1	<i>Modelación ecohidrológica-ecohidráulica en Ciénaga de Zapatosa</i> .....	149
5.1.2	<i>Modelación ecohidrológica-ecohidráulica en Ciénaga de Ayapel</i> .....	152
5.1.3	<i>Modelación ecohidrológica en la cuenca del río La Vieja</i> .....	155
5.2	PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PRESUPUESTALES .....	157
5.2.1	<i>Escenario 1 modelación de los 3 casos de estudio</i> .....	161
5.2.2	<i>Escenario 2 modelación de las 2 ciénagas</i> .....	167
5.2.3	<i>Escenario 3 modelación de la cuenca del río La Vieja</i> .....	174
6	<b>ESPECIFICACIONES PARA EL EQUIPO DE TRABAJO</b> .....	<b>189</b>
7	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>195</b>
7.1	CONCLUSIONES GENERALES.....	195
7.2	CONCLUSIÓN RELACIONADA CON EL IMPACTO A LOS ACTORES DE LA POLÍTICA NACIONAL INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO. ....	196
7.3	OTRAS CONCLUSIONES GENERALES.....	197
7.4	RECOMENDACIONES .....	201
8	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS IMPORTANTES</b> .....	<b>204</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Productos específicos del Componente 2 relacionados con la presente consultoría .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 2	Cronograma de actividades de la consultoría.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 3	Cronograma asociado al otrosi de la consultoría....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 4	Instituciones vinculadas al proyecto. ....	18





Tabla 5 Principales amenazas de cada hidrosistema seleccionado. ....	27
Tabla 6 Objetivos y características de los cuatro pasos en la metodología para la implementación de los principios de la Ecohidrología en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y en el desarrollo de las soluciones a los hidrosistemas. ....	39
Tabla 7 Directorio de profesionales convocados.....	44
Tabla 8 Ejemplo de inventario de información para el paso 1 Monitoreo de las amenazas, caso Ciénaga de Ayapel.....	54
Tabla 9 Ejemplo de inventario de información para el paso 2 Causa – Efecto, caso Ciénaga de Ayapel.....	55
Tabla 10 Ejemplo de inventario de información para el pasos 3 y 4 Elaboración de métodos y Desarrollo de soluciones de sistemas, caso Ciénaga de Ayapel.....	56
Tabla 11 Inventario de la información faltante y las entidades a consultar .....	58
Tabla 12 Conclusiones y comentarios de las jornadas de reconocimiento Ciénaga de Zapatosa y Ciénaga de Ayapel.....	59
Tabla 13 Amenazas en la Ciénaga de Ayapel identificadas por actores de la zona .....	96
Tabla 14 Amenazas en la Ciénaga de Zapatosa identificadas por actores de la zona ...	107
Tabla 15 Amenazas en la cuenca del río La Vieja identificada por actores de la zona...	111
Tabla 16 Preguntas y respuestas para la construcción del modelo.....	122
Tabla 17 Vías para la transferencia de conocimiento en la Fase 5 .....	135
Tabla 18 Cronograma general de las etapas de desarrollo del modelamiento ecohidrológico del componente 2. ....	143





Tabla 19 Actividades para la transferencia de conocimiento.....	144
Tabla 20 Planteamiento de escenarios presupuestales .....	158
Tabla 21 Descripción del ítem “Monitoreo y ensayos” por sitio .....	159
Tabla 22 Presupuesto Escenario 1c: Modelación de los 3 casos de estudio en esquema de consultoría .....	162
Tabla 23 Presupuesto Escenario 1i: Modelación de los 3 casos de estudio en esquema de investigación.....	164
Tabla 24 Presupuesto Escenario 2c: Modelación de las dos ciénagas en esquema de consultoría .....	168
Tabla 25 Presupuesto Escenario 2i: Modelación de las dos ciénagas en esquema de investigación.....	171
Tabla 26 Presupuesto Escenario 3c: Modelación de la cuenca del río La Vieja en esquema de consultoría .....	174
Tabla 27 Presupuesto Escenario 3i: Modelación de la cuenca del río La Vieja en esquema de investigación.....	177
Tabla 28 Resumen de escenarios presupuestales sin aporte en monitoreo IDEAM ni costos de Lineamientos y Trasanferencia de Conocimiento.....	180
Tabla 29 Resumen de escenarios presupuestales con aporte en monitoreo IDEAM no incluye costos de Lineamientos y Trasanferencia de Conocimiento .....	183
Tabla 30 Resumen de escenarios presupuestales con aporte en monitoreo IDEAM e incluye costos de Lineamientos y Trasanferencia de Conocimiento .....	186





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización de los sitios recomendados para desarrollar el componente 2.....	21
Figura 2 Localización de las áreas protegidas seleccionadas para el componente 1 y los sitios recomendados para desarrollar el componente 2 .....	22
Figura 3 Localización del Complejo Cenagoso de Ayapel.....	23
Figura 4 Localización del Complejo Cenagoso de Zapatosa.....	24
Figura 5 Localización de la cuenca del río La Vieja.....	25
Figura 6 Esquema general de los actores en los hidrosistemas y su papel en el proceso participativo de modelación ecohidrológica.....	47
Figura 7 Número de documentos consultados para cada uno de los hidrosistemas seleccionados y para la Macrocuenca .....	50
Figura 8 Identificación de las temáticas para cada sitio (Ayapel, Zapatosa, cuenca del Río La Vieja y Cuenca Magdalena-Cauca).....	51
Figura 9 El sistema Socioecológico y la modelación.....	66
Figura 10 Hacia un entendimiento de los hidrosistemas desde los servicios ecosistémicos .....	67
Figura 11 Línea de tiempo para algunas experiencias de modelación en Colombia .....	69
Figura 12 Protocolo de muestreo de calidad de agua .....	84
Figura 13 Parámetros fisicoquímicos a monitorear en agua.....	85
Figura 14 Estructura de los bioensayos .....	86





Figura 15 Modelo Animal: Daphnia magna .....	88
Figura 16 Modelo Animal: Hydra attenuata .....	89
Figura 17 Modelo bacteriano: Vibrio fischeri .....	90
Figura 18 Modelo vegetal: Lactuca sativa .....	91
Figura 19 Modelo vegetal: Selenastrum capricornutum .....	92
Figura 20 Protocolo análisis microbiológico .....	94
Figura 21 Esquema simplificado de los 4 pasos Ciénaga de Ayapel.....	104
Figura 22 Esquema de Socioecosistema para la ciénaga de Ayapel .....	105
Figura 23 Diferencias en los alcances de la modelación del FA (2015) y la propuesta en la presente consultoría .....	106
Figura 24 Esquema simplificado de los 4 pasos Ciénaga de Zapatosa.....	109
Figura 25 Esquema socioecosistema ciénaga de Zapatosa.....	110
Figura 26 Esquema simplificado de los 4 pasos para la cuenca del río La Vieja.....	114
Figura 27 Esquema socioecosistema cuenca del río La Vieja.....	115
Figura 28 Modelo de flujo de energía en ecosistemas acuáticos .....	116
Figura 29 Articulación entre componentes del proyecto GEF-Magdalena.....	124
Figura 30 Planteamiento de fases para el desarrollo del modelamiento del componente 2 del proyecto. ....	126
Figura 31 Planteamiento desarrollo de la fase Preliminares.....	137





Figura 32 Planteamiento desarrollo fase 1 Modelos piloto y primeros resultados .....	138
Figura 33 Planteamiento desarrollo fase 2 Monitoreo y pos proceso .....	139
Figura 34 Planteamiento desarrollo fase 3 Refinamiento de modelos .....	140
Figura 35 Planteamiento desarrollo fase Análisis s integral y resultados .....	141
Figura 36 Organigrama del equipo de trabajo .....	142
Figura 37 Alcance de la modelación ecohidrológica - ecohidráulica en la Ciénaga de Zapatosa.....	152
Figura 38 Alcance de la modelación ecohidrológica - ecohidráulica en la Ciénaga de Ayapel .....	155
Figura 39 Alcance de la modelación ecohidrológica en la cuenca del río La Vieja .....	157
Figura 40 Alianzas y socios estratégicos para la consecución de recursos económicos o monitoreo.....	158
Figura 41 Organigrama equipo de trabajo para la ejecución de los tres sitios (2 ciénagas y 1 cuenca).....	161
Figura 42 Organigrama equipo de trabajo para la ejecución de dos ciénagas .....	168
Figura 43 Organigrama equipo de trabajo para la ejecución de la cuenca del Río La Vieja .....	174





## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A Ficha técnica del proyecto (Anexo Digital) .....	211
Anexo B Base de datos del inventario de la información documental (Anexo Digital) ....	211
Anexo C Inventario de la información documental (*.xls Anexo Digital) .....	211
Anexo D Memoria de la jornada de socialización y reconocimiento del complejo cenagoso de Zapatosa (Anexo Digital).....	211
Anexo E Memoria de la jornada de socialización y reconocimiento del complejo cenagoso de Ayapel (Anexo Digital) .....	211
Anexo F Oficios enviados a los convocados a socializar y retroalimentar el proyecto (Anexo Digital) .....	211
Anexo G Listados de asistencia a las reuniones a las que el consultor asistió.....	211
Anexo H Cotizaciones laboratorios para ensayos de calidad de agua y organismos .....	211
Anexo I Presentaciones de los talleres de socialización .....	211
Anexo J Relación de costos para análisis de laboratorio en muestras de agua .....	212





## INTRODUCCIÓN

En Colombia existen varios estudios y proyectos encaminados a entender el funcionamiento de hidrosistemas relevantes para el país, entre ellos, cuencas hidrográficas, corredores fluviales, lagos, lagunas, ciénagas, embalses, etc. Este desarrollo ha estado ligado a su vez en el mejoramiento de capacidades al interior de varias Instituciones y de varios actores que han contribuido con esta importante labor, tales como: Ministerios Nacionales, entidades e institutos de orden nacional, entes territoriales (municipios, departamentos), Corporaciones Autónomas, Instituciones de Educación Superior, Fundaciones y Organizaciones no gubernamentales y en general todos los actores que componen el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Se pueden identificar reportes técnicos, memorias de eventos, informes, monografías, artículos científicos, y ponencias en eventos, en donde resultan evidentes los aportes realizados por estos actores. Con este marco de referencia se desarrolla y presenta el actual documento, el cual se orienta a establecer un inventario y análisis de información relacionada con los diferentes estudios realizados en la cuenca Magdalena Cauca, y en particular aquellos enmarcados en el entendimiento de las dinámicas hídricas y sedimentológicas a escala local, regional y de Macrocuena. De igual forma, relacionar y analizar aquellos estudios de carácter limnológico, biológico y ecológico que integran la caracterización y fenomenología de los diferentes ciclos biogeoquímicos y su entrelazamiento con algunas cadenas tróficas de interés. A partir de este inventario y análisis se espera avanzar hacia la conceptualización de una metodología y un marco de trabajo en relación a estudios integrados desde una perspectiva ecohidrológica y ecohidráulica. Tales conceptos propuestos por la UNESCO como paradigmas de sostenibilidad hídrica fueron establecidos en la década de los 90's, no obstante, se ha identificado que su comprensión y aplicación en nuestro medio no resulta generalizada.

La concepción de estudios con una visión ecohidrológica, permite entender las relaciones dinámicas entre los diferentes sistemas que actúan en el objeto de estudio como los hidrológicos, sociales y ecológicos. Cabe aclarar que cada uno de estos componentes tiene





procesos que actúan en escalas espaciales y temporales diferentes, pero que el mismo sistema se ha encargado que se conecten y retroalimenten. La ecohidrología es una forma científica de gestionar el ciclo del agua con el fin de lograr el uso sostenible del agua por parte de las sociedades. Este enfoque contribuye al aumento del conocimiento de los hidrosistemas, a la reducción de la incertidumbre y favorece que los análisis derivados de la modelación se conviertan en una herramienta para el establecimiento de políticas de gestión integrada del recurso hídrico y por ende para los tomadores de decisiones. De otro lado, considerando las hipótesis de la ecohidrología, iniciativas como las propuestas desde la consultoría en el marco del Proyecto “Manejo Sostenible y Conservación de la Biodiversidad Acuática en la cuenca Magdalena – Cauca”, se encuentran alineadas en un panorama de sostenibilidad, donde la seguridad hídrica, el bienestar humano y la salud de los ecosistemas se encuentran como objetivos definitivos de los modelamientos, análisis y monitoreo.

Haciendo una revisión de los ejercicios de modelación, análisis y monitoreo a nivel nacional, por un lado, se encuentran grandes esfuerzos por el desarrollo de línea base y de artefactos de modelación conceptual, matemática y computacional para el entendimiento del funcionamiento hidrosedimentológico y de calidad de aguas; y por otro lado excelentes estudios de línea base y conceptualización de tipo biológico, limnológico y ecológico. En otras palabras, no se encuentra en forma amplia experiencia en Colombia en estudios ecohidrológicos y ecohidráulicos que hayan sido concebidos y desarrollados apoyados en las hipótesis que los componen. Por esta razón, el actual reporte –desde su enfoque metodológico de inventario y análisis de información- se enmarca en aproximaciones ecohidrológicas de tal forma que se facilite no sólo este ejercicio, sino también avanzar hacia una estructuración de un marco de trabajo generalizado que pueda ser aplicado para los diferentes hidrosistemas de interés.







# 1 MARCO DE REFERENCIA Y METODOLOGIA DE LA CONSULTORÍA

## 1.1 CONTEXTO DEL PROYECTO

Siguiendo la información facilitada por Fundación Natura de la ficha resumen del proyecto (Anexo A) se describe a continuación su contextualización.

La cuenca del Magdalena constituye un área de vital importancia ambiental y socioeconómica para Colombia, abarcando una superficie de 270.895 km<sup>2</sup> (24% del país) y donde se alberga el 77 % de la población de Colombia, produce el 86% del Producto Interno Bruto (PIB), 75% de la energía hidráulica, 70% de la producción agrícola y 50% de la pesca continental (The Nature Conservancy-TNC, 2015).

Su variabilidad altitudinal ha propiciado una gran diversidad de sitios de alta relevancia global para la conservación de especies amenazadas. Sin embargo, ecosistemas como los dulceacuícolas se encuentran poco protegidos (4,68 % del área total).

Como respuesta a esta necesidad, nace el proyecto “Manejo sostenible y conservación de la biodiversidad acuática en la cuenca Magdalena-Cauca”, que tiene como objetivo contribuir a la conservación y uso sostenible de ecosistemas dulceacuícolas y su biodiversidad; además de proteger hábitats prioritarios, mejorar la salud de los ecosistemas y fortalecer la gobernanza y capacidades locales, la ejecución se logrará a través de tres componentes.

El **Componente 1. Conservación de Áreas Prioritarias**, busca mejorar la representatividad e integridad ecológica de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca, mediante la creación de al menos cinco nuevas Áreas Protegidas Regionales (APRs) que adicionarán por lo menos 160.000 hectáreas nuevas al SINAP, así como el fortalecimiento de cuatro APRs existentes que podrían abarcar cerca 188.000 hectáreas.





En las áreas relevantes pero no factibles para la declaratoria de área protegida se establecerán tres mosaicos de conservación en aproximadamente 500.000 hectáreas.

Para las nuevas APRs se apoyará el ciclo de creación, oficialización, formulación e implementación de planes de manejo. También para las APRs nuevas y ya existentes, se apoyará la implementación de las primeras acciones de los Planes de Manejo, especialmente de las actividades vinculadas a mejorar la efectividad del APR.

Para los mosaicos de conservación se apoyará el diseño de instrumentos de planificación territorial para la gestión e implementación de acciones estratégicas basadas en criterios de paisaje, conectividad y biodiversidad.

El **Componente 2. Gestión de la Salud de los Ecosistemas**, tiene por objetivo contribuir al mantenimiento de los ecosistemas dulceacuícolas, a través de: (i) la mejora de hábitats dulceacuícolas de importancia para la reproducción de Bocachico y Bagre Rayado, a partir de la formulación de Planes de Ordenamiento Pesquero; (ii) la incorporación de criterios para la gestión de ecosistemas dulceacuícolas en la planificación ambiental y territorial de la cuenca a partir del modelamiento hidrológico (hidrología, sedimentación y clima).

En la línea que plantea el numeral ii, se resalta el aporte de los desarrollos del Componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) a los instrumentos de planificación local, regional y nacional, dado que fortalece dando insumos y al mismo tiempo de apoya en las metas de la PNGIRH, referentes a los instrumentos de planificación (Planes Estratégicos de Macrocuencas en Áreas Hidrográficas, Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas en las cuencas de nivel inferior al del nivel subsiguiente de la Subzona Hidrográfica, Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos, y Plan de Ordenamiento del recurso hídrico).

De otro lado, se proyecta que los modelos hidrológicos contribuyan a comprender la dinámica de los hidrosistemas, por medio de la cuantificación de las variables que





determinan su salud, permitan evaluar las amenazas, especialmente las vinculadas con procesos de sedimentación, alteración del régimen hídrico, cambio climático y otras presiones sobre el recurso hídrico. En este sentido será clave la participación directa del Centro Nacional de Modelación (CNM) del IDEAM, asegurándose también la transferencia del conocimiento y de las tecnologías a otras instituciones con competencias como las CAR's, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), MADS, entre otros.

Por último, el **Componente 3. Monitoreo y Evaluación**, fortalecerá en cierta medida el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), dentro del ámbito del monitoreo de la salud de ecosistemas dulceacuícolas y su biodiversidad asociada. Durante una primera fase y en cabeza del IAVH, se apoyará a las instituciones que conforman el SIAC para el diseño del sistema de monitoreo, definir indicadores, establecer competencias y acordar arreglos institucionales requeridos para adoptar posteriormente su implementación en las primeras ventanas de monitoreo efectivo.

De acuerdo con la ficha técnica (Anexo A), en el desarrollo del proyecto se identifican involucradas las entidades descritas en la Tabla 1:

**Tabla 1 Instituciones vinculadas al proyecto.**

<b>Agencia financiadora</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Global Environment Facility (GEF)</li> <li>• Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)</li> </ul>
<b>Agencia implementadora</b>	Banco Interamericano de Desarrollo (BID)
<b>Agencia ejecutora</b>	Fundación Natura
<b>Instituciones socias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS</li> <li>• Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM</li> </ul>





	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fondo Adaptación</li><li>• Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena - CORMAGDALENA</li></ul>
--	--

Con el fin de definir las rutas a seguir en el Componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se consideró apropiado realizar una consultoría para que se dieran los lineamientos. Para ello la presente consultoría debe cumplir con la entrega de los productos que se describieron en el PLAN DE TRABAJO para 3 sitios de referencia dentro de la Macrocuenca Magdalena-Cauca (MCMC), estos lugares fueron definidos a través de una consultoría previa contratada directamente por el BID al Ingeniero Jaime Moreno, (Moreno, 2015).

Los sitios seleccionados son: 1) Ciénaga de Ayapel, 2) Ciénaga de Zapatosa y 3) Cuenca del río La Vieja. Con el fin de dar a conocer las principales características de los sitios sugeridos para el desarrollo del Componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), a continuación, se hace una breve descripción y las posibles amenazas que se evidencian después de la revisión de la literatura alrededor de estos hidrosistemas. También se incluye la localización general de estos hidrosistemas en la Figura 1.

### 1.1.1 Complejo Cenagoso de Ayapel

La ciénaga de Ayapel tiene una extensión total de 40.000 hectáreas aproximadamente, hace parte del sistema de ciénagas que conforman la planicie inundable de la ecorregión de La Mojana. Esta ciénaga está limitada al sur por la serranía de Ayapel, al occidente por el río San Jorge y al costado oriental y norte se encuentra controlada por la planicie inundable que desciende desde el río Cauca hasta el sistema de humedales de la región de la Mojana (Moreno, 2015) (Ver Figura 3).





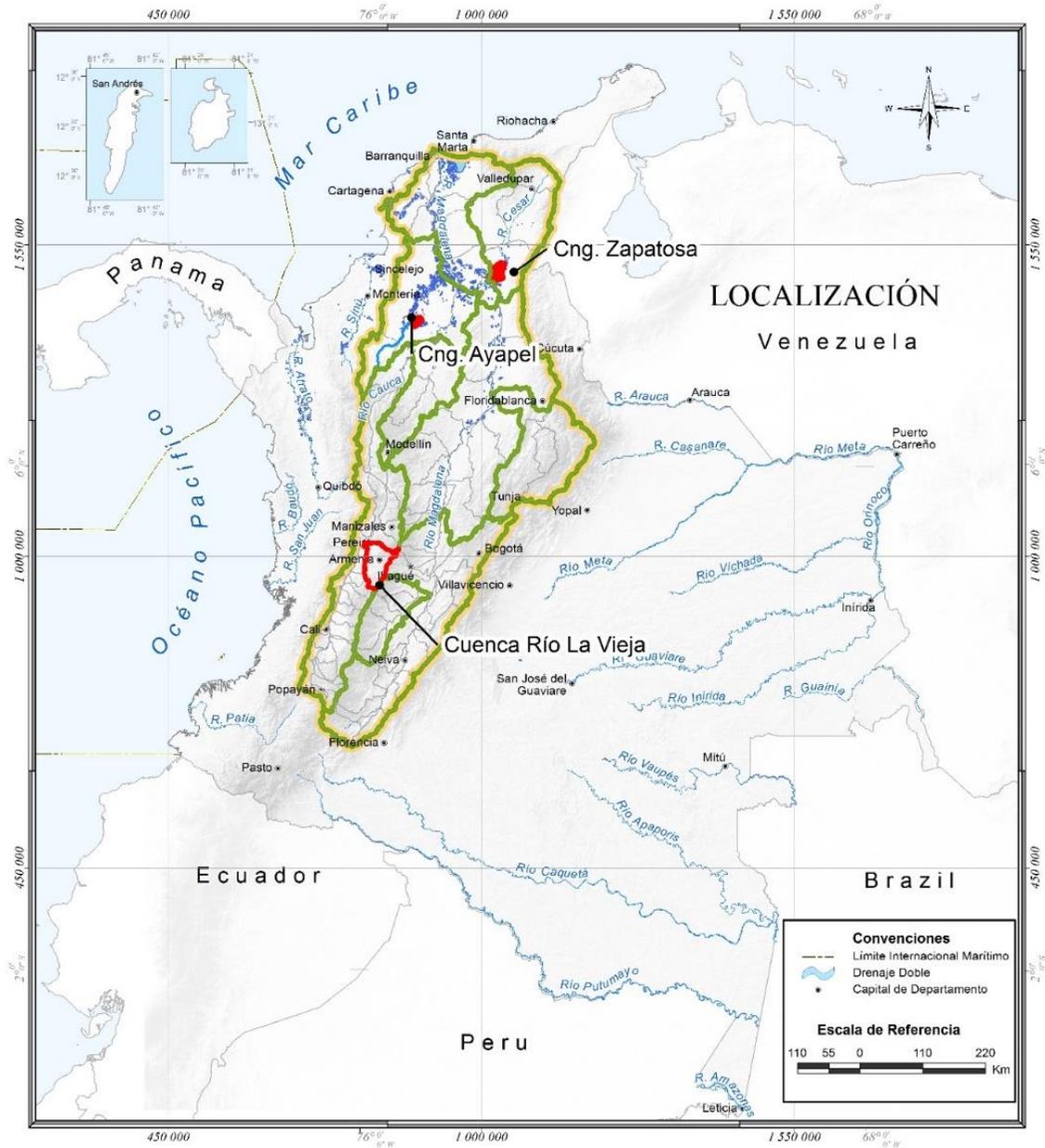
### 1.1.2 Complejo Cenagoso de La Zapatosa

Se encuentra localizada en la zona centro occidental del departamento del Cesar, comparte su extensión con algunos municipios del Magdalena como Chimichagua, Chiriguaná, Curumani, Tamalameque y El Banco. La Ciénaga es el principal y más grande cuerpo de agua dulce en Colombia, presenta una extensión media de 300 km<sup>2</sup> alcanzando una superficie de 430 km<sup>2</sup> en niveles máximos y disminuyendo a menos de 200 km<sup>2</sup> en niveles mínimos, su profundidad promedio para un nivel de 6.60 m (citado en IDEAM, 2010) (Ver Figura 4).

### 1.1.3 Cuenca Río La Vieja

Se encuentra localizada en el centro occidente colombiano y forma parte de la Ecorregión del Eje Cafetero, es uno de los principales tributarios del río Cauca y su cuenca hidrográfica en jurisdicción de los departamentos del Quindío, Risaralda y Valle (CRQ et al., 2008) (Ver Figura 5).





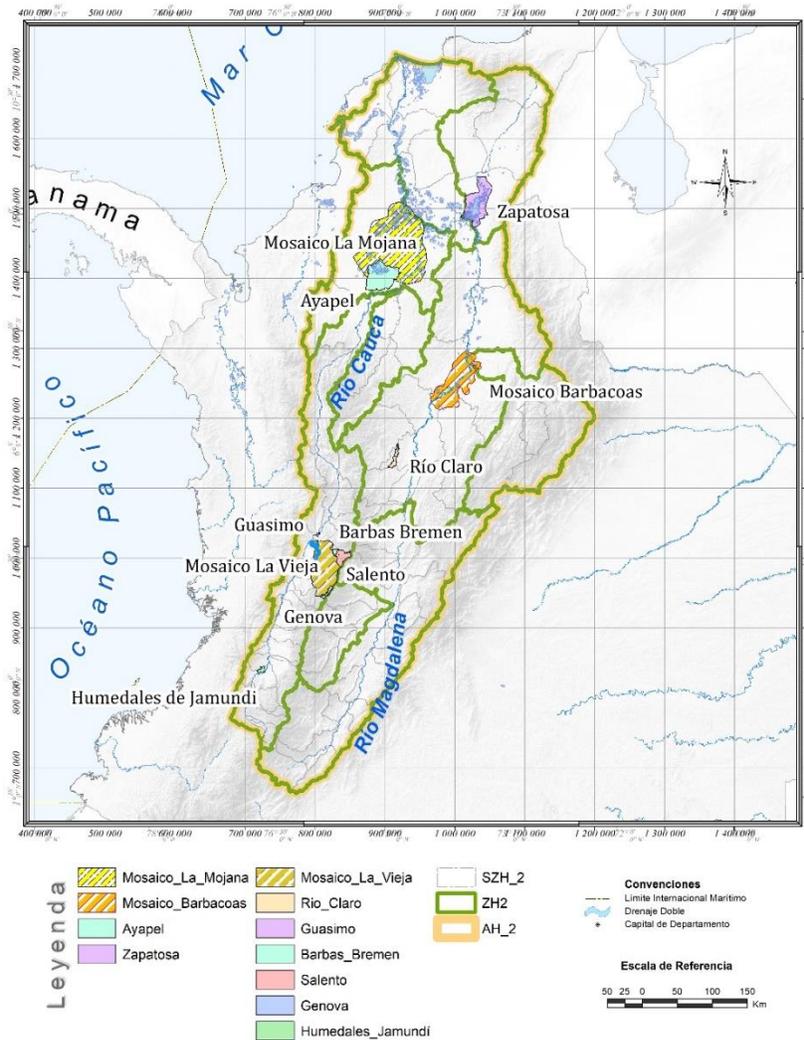
Fuente: Elaboración propia.

Nota: Cartografía base IGAC 500.000, Zonificación hidrográfica IDEAM (IDEAM, 2013)

Figura 1 Localización de los sitios recomendados para desarrollar el componente 2



La siguiente figura muestra la localización de las áreas protegidas establecidas para el desarrollo del **Componente 1** del proyecto GEF-Magdalena, junto con las localizaciones de los sitios a desarrollar la modelación ecohidrológica del componente 2.

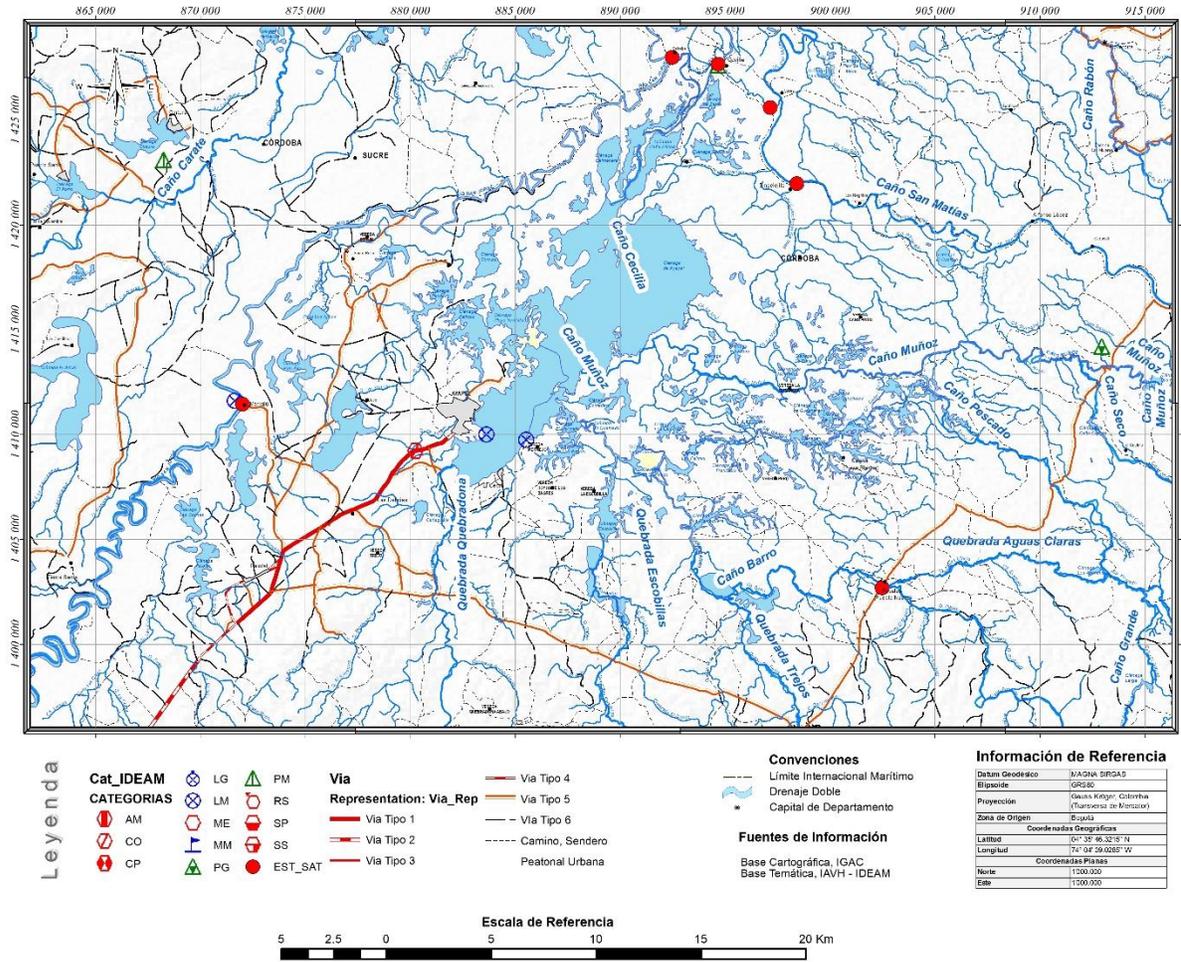


Fuente: Elaboración propia.

Nota: Cartografía base IGAC 500.000, Zonificación hidrográfica IDEAM (IDEAM, 2013)

Figura 2 Localización de las áreas protegidas seleccionadas para el componente 1 y los sitios recomendados para desarrollar el componente 2



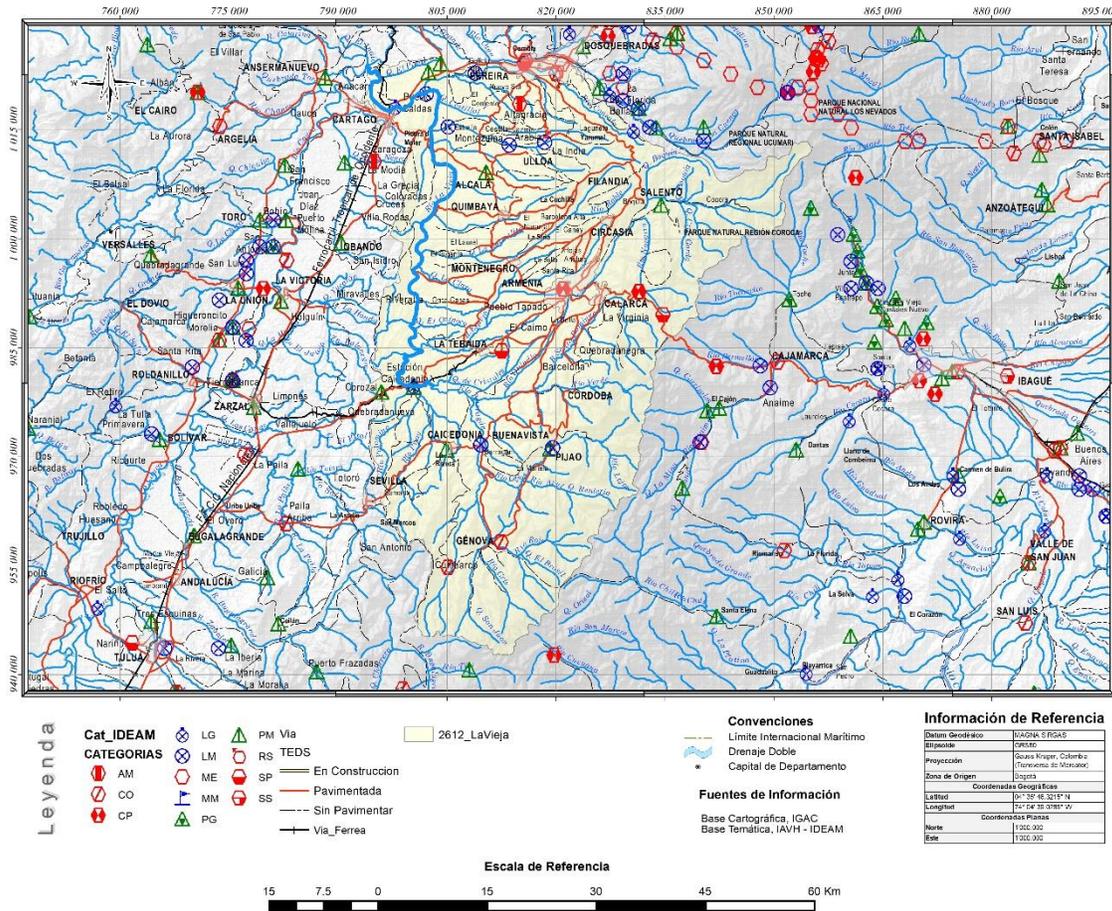


Fuente: Elaboración propia.

Nota: Cartografía base IGAC, Cartografía temática IDEAM

Figura 3 Localización del Complejo Cenagoso de Ayapel.





Fuente: Elaboración propia.

Nota: Cartografía base IGAC, Cartografía temática IDEAM

Figura 5 Localización de la cuenca del río La Vieja.

### 1.1.4 Principales amenazas en los hidrosistemas seleccionados

En el marco del objetivo central del proyecto GEF-Magdalena que dice "... contribuir a la conservación y uso sostenible de ecosistemas dulceacuícolas y su biodiversidad en la cuenca Magdalena – Cauca, mediante la protección de hábitats prioritarios, la mejora de la salud de los ecosistemas y el fortalecimiento de la gobernanza y las capacidades locales" y el primer objetivo del componente 2 "(i) la mejora de hábitats dulceacuícolas de



importancia para la reproducción de **Bocachico** y **Bagre Rayado**, a partir de la formulación de Planes de Ordenamiento Pesquero;” uno de los puntos de interés son las actividades relacionadas con la pesca. De acuerdo con el “Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica” (MINAMBIENTE & PNUD, 2005) “ Los sistemas pesqueros confirman la estrecha relación sociedad-naturaleza a través de numerosas funciones ecológicas que resultan en los SE necesarios para provisión de peces. Muchas funciones ecológicas y la interacción entre ellas son esenciales para su suministro. Entre ellas están la provisión de hábitat; el papel de la vegetación (matriz de las raíces) y la biota edáfica en la retención de suelo; la estabilización de sedimentos; la función de la vegetación y la biota para eliminar nutrientes en exceso y otros componentes que contaminan el agua; las características geomorfológicas de los ecosistemas acuáticos que determinan la conectividad en la interfaz tierra-agua y la conectividad entre ecosistemas acuáticos, esenciales para el mantenimiento del caudal y pulsos de caudal, y que permiten procesos esenciales en el ciclo de vida de las especies pesqueras.”. A la luz de esta descripción de las relaciones entre elementos bióticos y abióticos se reconoce la importancia del manejo de las pesquerías y la necesidad de identificar las principales amenazas a los ecosistemas acuáticos y los hábitats de las especies amenazadas.

Siguiendo con el “Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el Convenio de Diversidad Biológica” (MINAMBIENTE & PNUD, 2005) “La caída de la pesquería se atribuye al deterioro de sus ecosistemas en combinación con la sobreexplotación. Entre las intervenciones de mayor impacto están la tala de bosques, los agroquímicos, la erosión y la consecuente sedimentación en los cursos provenientes de fuentes urbanas. Estas alteraciones son incrementadas por los efectos climáticos asociados al CC global”.

Con el fin de identificar las rutas a seguir para el modelamiento ecohidrológico se establecieron las principales amenazas a las que los hidrosistemas seleccionados se encuentran sometidos, el listado de estas y sus características se observan en la Tabla 2.





**Tabla 2 Principales amenazas de cada hidrosistema seleccionado.**

Hidrosistema	Amenaza	Característica
Ciénaga de Ayapel	Construcción dique marginal sobre la margen izquierda del Río Cauca, y construcción de diques en la planicie de inundación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Cambios en la geoforma de la planicie de inundación</li> <li>2) Disminución de los servicios de regulación hídrica del sistema cenagoso.</li> </ol>
	Uso mercurio en actividades de minería de oro.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Impactos en la calidad del agua, sedimentos y la biota</li> <li>2) Incorporación del mercurio a la cadena trófica.</li> <li>3) Enfermedades en la comunidad</li> <li>4) Enfermedades en los animales del ecosistema acuático, especialmente en los peces.</li> </ol>
	Uso de suministros con compuestos de metales pesados en actividades productivas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Liberación de sustancias tóxicas por actividad agrícola.</li> <li>2) Presencia de metales pesados en agua, suelo y biota.</li> <li>3) Impacto en el nicho de las especies de fauna y flora, recursos genéticos y la retención de carbono.</li> <li>4) Reducción de los servicios de abastecimiento, debido a que la población local utiliza la pesca como principal fuente alimenticia y medio de subsistencia.</li> <li>5) Enfermedades en la comunidad</li> </ol>
	Dinámicas de sedimentación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Pérdida de la conectividad hidráulica por las dinámicas de sedimentación como es el caso de Caño Seheve y Caño Muñoz.</li> <li>2) Amenaza la navegabilidad y la seguridad alimentaria</li> </ol>
	Ausencia de alcantarillado y mal manejo de los residuos sólidos.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Contaminación del recurso hídrico</li> <li>2) Afectación del recurso pesquero</li> <li>3) Enfermedades en la comunidad por la falta de agua potable</li> </ol>
	Contaminación y la sobrepesca	Disminución en la oferta de pesca y peces nativos en condiciones de deterioro
	Alteración y pérdida de hábitat por frontera agrícola y cacería para comercio (CVS, 2007)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Fauna y flora amenazada (tortugas, hicoteas, babillas, caimanes, pisingos...)</li> <li>2) Extracción del recurso forestal que genera pérdida del recurso forestal, pérdida de capa orgánica, erosión genética.</li> <li>3) Fragmentación de los ecosistemas naturales</li> </ol>
	Turismo nacional e internacional.	Pesca deportiva.
Ciénaga de Zapatosa	Infraestructura de aprovechamiento de recursos hídricos en la cuenca aguas arriba.	Ejecución de proyectos hidroeléctricos sobre la cuenca del Río Magdalena, que afectan el flujo aguas abajo dentro de la cual se encuentra la Ciénaga.
	Falta de una infraestructura adecuada para servicio de acueducto y alcantarillado en las poblaciones vecinas a la ciénaga.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Vertimientos sin control en poblaciones vecinas</li> <li>2) Reducción de la calidad de agua, con impactos en la biota</li> <li>3) Episodios de enfermedades intestinales en los niños, desnutrición y mortalidad infantil.</li> </ol>
	Degradación de hábitats naturales y el uso	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Extinción de especies de aves de importancia para la Conservación</li> </ol>





Hidrosistema	Amenaza	Característica
	inapropiado de especies a través del comercio ilegal de individuos y/o sus productos (Andina, 2008; Rangel-Ch, 2007)	2) En las ciénagas de Zapatosa de acuerdo a las categorías de la UICN se encuentran bajo algún tipo de amenaza o peligro las poblaciones de las siguientes especies icticas: <i>Prochilodus magdalenae</i> ( <b>bocachico</b> ), <i>Psuedoplatystoma fasciatum</i> ( <b>bagre rayado</b> ), <i>Ageneiosus pardalis</i> (doncella), <i>Sorubim cuspicaudus</i> (blanquillo), <i>Hypostomus hondae</i> (coroncoro), <i>Plagioscion surinamensis</i> (pacora) y <i>Salminus affinis</i> (picuda). 3) Extendido uso de <b>mangle</b> ( <i>Symmeria paniculata</i> ) como leña 4) Fragmentación del bosque
	Sobreexplotación del recurso pesquero.	1) Falta de control en técnicas de pesca 2) Falta de control en la tala mínima para pesca.
	Apropiación de áreas de la ciénaga.	Zonas de la planicie de inundación utilizadas para la ganadería.
<b>Cuenca del Rio La Vieja</b>	Alta densidad poblacional y actividad antrópica.	1) Elevado consumo de agua en la cuenca 2) Afectación en las riberas de las corrientes por parte de los predios vecinos (habitados).
	Explotación de material de arrastre sobre algunos de los cauces.	1) Alteración de la dinámica fluvial ocasionando erosión, socavación y sedimentación 2) Deterioro recursos naturales.
	Falta de protección de las riberas de las fuentes hídricas.	
	Descargas en cuerpos de agua provenientes de actividades del sector industrial, agrícola y doméstico.	1) Contaminación de agua 2) Descarga de sedimentos y nutrientes.
	Amenaza sísmica (MINAMBIENTE et al., 2006)	
	Amenaza volcánica (MINAMBIENTE et al., 2006)	
	Amenaza por remoción en masa (MINAMBIENTE et al., 2006)	





## 1.2 MARCO CONCEPTUAL EN EL QUE SE SOPORTA LA ACTUAL CONSULTORÍA

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una estrategia para diseñar iniciativas que contribuyan a proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de una vida sana, como también promover el bienestar para todos. El desarrollo de la presente consultoría se enmarca en el espíritu de los ODS, ya que se establecerán los lineamientos que cumplan los desafíos ambientales alrededor de los sitios seleccionados y su impacto en toda la MCMC, principalmente en las metas de sostenibilidad del medio ambiente (PNUD, 2015).

La Asociación Mundial para el Agua (*Global Water Partnership-GWP*), indica que la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es un proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Adicionalmente, el enfoque de desarrollo y de políticas, están relacionados con la gestión del agua en consideración de los diversos usos y las necesidades de las personas, que incluyan la relación entre las políticas macroeconómicas, planificación y estrategias relacionadas al agua y que sean incorporadas a los objetivos sociales, económicos y ambientales. En esta misma línea, la seguridad hídrica se define como “la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua” (Grey & Sadoff, 2007) .

En este orden de ideas, el Global Water Partnership (GWP) integra la preocupación por el valor y el uso intrínseco del agua para el bienestar y la supervivencia del hombre; de igual manera se establece que un mundo con seguridad hídrica reduce la pobreza, aumenta la calidad de vida y promueve la educación, haciendo un uso responsable del recurso hídrico. Es por esto que hace falta que los países dirijan su esfuerzo a fortalecer su capacidad para afrontar estos desafíos a través del desarrollo de políticas y marcos institucionales, la





inversión en infraestructura, monitoreo y respuesta con una visión a largo plazo, lo que les permitirá reducir costos.

Algunas de las ideas claves propuestas por GWP son:

- La seguridad hídrica es transversal a todos los aspectos del desarrollo económico y como tal está evolucionando rápidamente de una visión a un imperativo del desarrollo.
- Las personas asignan significado al concepto de seguridad hídrica dependiendo de la escala y el contexto particular en el que es aplicado.
- La seguridad hídrica nunca podrá ser alcanzada totalmente porque las condiciones físicas y económicas están en constante cambio por lo tanto requieren la adaptación continua.
- No existe una única solución para aumentar la seguridad hídrica. Las soluciones deben adaptarse a las condiciones locales en cada país, cuenca, ciudad, proyecto o área de gestión.
- No se puede gestionar lo que no se puede medir y por tanto la medición de la seguridad hídrica será fundamental para aumentarla.

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que la prestación y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos son indispensable para la supervivencia de la vida humana en el planeta. Sólo es posible si se garantiza la estructura y el funcionamiento de la biodiversidad (MEA, 2005), ecosistemas como por ejemplo los bosques y los humedales, se encuentran en el corazón del ciclo global del agua, demostrando así su alta dependencia en el funcionamiento saludable y continuo de los ecosistemas (WWAP, 2012).

A nivel nacional en Colombia, el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico (PNMRH) da respuesta a la necesidad de contar con un monitoreo sistemático, coherente y de esta manera mejorar la información y el conocimiento sobre el agua que tiene el país en el ámbito tanto nacional como regional, dando soporte a los procesos de evaluación, gestión ambiental, sectorial y del desarrollo sostenible. Con el fin de alimentar las





estadísticas hidrometeorológicas, estos estudios regionales y nacionales dan cuenta de los comportamientos de las diferentes variables y por ende se recomienda una larga serie de registros y ubicarse en zonas con poca influencia antropogénica; basado en lo anterior el PNMRH soporta, a) la generación de conocimiento e información sobre los procesos naturales que integran el ciclo del agua, b) Permite el seguimiento al comportamiento de estos procesos, c) interpreta la respuesta ante la influencia de la actividad humana, d) evalúa el estado, dinámica y alteraciones y finalmente e) evalúa la gestión y controla esta influencia. Así mismo el Programa Nacional de Monitoreo contempla líneas estratégicas como la información y el conocimiento, el cual hace referencia a la observación, medición, vigilancia continua y sistemática del agua, la investigación e innovación, fortalecimiento de actividades, comunicación, difusión y participación del marco regulatorio.

Siguiendo por la misma línea de sistemas ambientales y de acuerdo a la ley 99 de 1993 se creó el SINA (Sistema Nacional Ambiental), el cual está integrado por el Ministerio del Medio Ambiente, las Corporaciones Autónomas Regionales, las Entidades Territoriales y los institutos de investigación que están adscritos al Ministerio y hace referencia al conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la participación de las etnias y la ciudadanía en general, entorno al desarrollo sostenible ambiental, económico y social del país.

Finalmente, el Sistema de información Ambiental Marina (SIAM), integra elementos conceptuales, políticas, normas, procesos, recursos humanos y tecnologías las cuales articulan la información ambiental costera; administrada en el ambiente nacional, regional y local. Éste sistema tiene como objetivo desarrollar instrumentos de acopio, análisis y gestión de la información ambiental y de uso de los recursos marinos y costeros de Colombia, esto con el fin de gestionar la toma de decisiones y generar conocimiento orientado al desarrollo sostenible.





### 1.3 METODOLOGÍA PROPUESTA Y ENFOQUE METODOLÓGICO

En Colombia dentro de las acciones a nivel de gestión, se encuentran la elaboración de la Política Nacional de Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA), en el cual se plantea el uso y el manejo sostenible de los recursos naturales renovables, donde la consigna es mantener un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de los recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de las cuencas y específicamente de sus recursos hídricos. También es el marco para planificar el uso de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos enfocados a conservar, preservar, prevenir y/o restaurar la cuenca hidrográfica; sin embargo, la ordenación de una cuenca, se hace ejecutando las siguientes fases: i) aprestamiento, ii) diagnóstico, iii) prospectiva y zonificación ambiental, iv) formulación, v) ejecución, vi) seguimiento y evaluación (MADS, 2014); todo ello con el fin de establecer criterios técnicos, procedimientos, metodologías y lineamientos para abordar temas de participación y la inclusión de la gestión de riesgo. También se encuentran los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), los que son los encargados de la toma de decisiones sobre proyectos que requieran licencia teniendo en cuenta la ley y el reglamento. Estos estudios deben corresponder en su contenido y profundidad a las características y entorno del proyecto, es decir, deben de tener en cuenta a) objeto y alcance del estudio, b) resumen ejecutivo, c) delimitación del área de influencia directa e indirecta, d) descripción del proyecto, e) información sobre la compatibilidad del proyecto con los usos del suelo establecidos en el POT, f) información sobre recursos naturales, g) identificación de las comunidades, h) descripción, caracterización y análisis tanto del medio biótico como abiótico, factores socioeconómicos en el cual se pretende desarrollar el proyecto, i) identificación y evaluación de los impactos y j) la propuesta del plan de manejo ambiental.

De acuerdo a lo anterior, un elemento clave en el sostenimiento de los ecosistemas de agua dulce específicamente, es la participación colectiva (ciencia, sociedad y política), donde el compromiso de la comunidad científica es realizar investigaciones que disminuyan la incertidumbre alrededor de las relaciones Biodiversidad-Funcionamiento de los





Ecosistemas (B-FE) hasta lograr una capacidad predictiva, donde los resultados puedan ser comunicados a todos los interesados desde sectores, pasando por la academia, hasta los pobladores ribereños; es por ello que requiere generar un compromiso público en cuanto a la conservación de los ecosistemas de agua dulce, logrando asimilar los resultados de las investigaciones y del entendimiento de las relaciones B-FE.

Otro de los retos investigativos para la evaluación de la salud de los ecosistemas acuáticos es lograr el diseño e implementación de indicadores integrales, soportados en un monitoreo adecuado y priorizado, de esta manera se podría esperar cumplir el objetivo de conservación del agua dulce y por ende una evaluación de las relaciones B-FE. El diseño de índices ambientales debe garantizar la sustentabilidad de la información (calidad y cantidad), estar guiados por datos, no enmascarar la realidad, disponer del conocimiento experto y ser de fácil comunicación (Fleming, Wong, & Graham, 2014).

Los humedales se caracterizan por ser sistemas complejos que proveen múltiples servicios como la purificación del agua, la amortiguación de pulsos de inundación y usos en algunas actividades humanas. De acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD, 2009) la biodiversidad se define como “la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; el cual comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”. Los beneficios que se derivan de la biodiversidad son conocidos como servicios ecosistémicos (SE), es decir, son las contribuciones directas o indirectas que los ecosistemas hacen referencia al bienestar de las poblaciones humanas (EPA Science Advisory Board, 2009). Teniendo en cuenta lo anterior, la evaluación del Milenio de Ecosistemas (MEA) distingue cuatro categorías para los servicios ecosistémicos los cuales son: aprovisionamiento, regulación, soporte y cultura.

De acuerdo con investigaciones lideradas por el IAvH, Colombia cuenta con 30.781.149 ha de humedales, lo que corresponde a 26% del territorio continental e insular (IAvH, 2015), dentro de los tipos de humedales se encuentran los que cuentan con agua





permanentemente, permanentes bajo dosel, los temporales y los que son potencialmente humedales. El país cuenta con sitios de interés internacional por ser participante de la convención Ramsar: 1) Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena-Ciénaga Grande de Santa Marta, 2) Laguna de la Cocha, 3) Delta del Río Baudó, 4) Complejo de Humedales Laguna del Otún, 5) Sistema Lacustre de Chingaza, 6) Complejo de humedales de la estrella fluvial Inírida, 7) Laguna de Sonso, 8) Complejo cenagoso de Ayapel, 9) Lagos de Tarapoto en el Amazonas, y 10) Ciénaga de Zapatosa. Es interesante identificar que dentro de los sitios de interés internacional, dos de los sitios del proyecto GEF-Magdalena tiene presencia, y a pesar que no está como tal la cuenca del río La Vieja, se incorpora el Complejo de Humedales Laguna del Otún, que hace parte fundamental en el hidrosistema.

De acuerdo con Vilardy et al., (2014) el reto actual para la gestión integral de los humedales en Colombia consiste en desarrollar otro tipo de paradigma que tenga en cuenta la naturaleza compleja de sus dinámicas acopladas a diferentes escalas espaciales y temporales en el territorio, que se base en la necesidad de incorporar la incertidumbre como un elemento clave del sistema, y que sea incluyente y participativo. Las intervenciones propuestas en el paisaje deben sustentarse en el reconocimiento de la incertidumbre en todos sus niveles (procesos, modelos, observación y comportamiento mismo del sistema natural) y contemplar un sistema de monitoreo que permita anticipar la modificación de futuras intervenciones de manejo de acuerdo a la forma como se comporta el sistema y el aprendizaje obtenido (Franco, Muñoz, Andrade, & Naranjo, 2010).

Bajo esta conceptualización, se debe partir entonces de la identificación del tipo de hidrosistema a estudiar, y con ello avanzar en la caracterización de los procesos físicos que se llevan a cabo allí, junto con sus relaciones con la sociedad y el medio natural. Dentro del objeto de estudio de la presente consultoría se encuentran los siguientes tipos de hidrosistemas:





- Complejo Cenagoso de Ayapel y Zapatosa
  - Planicie de inundación: Complejos de humedales que se presentan en las márgenes del cauce activo de los ríos. Se alimentan por el desborde de estos en época de aguas altas.
  - Ciénaga:
    - Humedales que están conectados con las zonas medias y bajas de los ríos a través de los caños. De esta conexión depende la renovación de sus aguas y el intercambio de sedimentos y organismos. Están fuertemente influenciados por la estacionalidad y constituyen sitios de amortiguación de las crecientes (Vilardy et al., 2014).
    - Cuerpos de agua localizados en depresiones poco profundas y conectadas al río mediante estrechos canales meandriformes. Estas se pueden formar mediante la acción inundante del río sobre las tierras bajas adyacentes y por la continua acción erosiva de un río, la que da origen a formación de brazos que eventualmente se convierten en ciénagas permaneciendo unidas al río por uno o más caños (Roldán & Restrepo, 2008).
- Cuenca del río la Vieja
  - Ríos
  - Quebradas
  - Nacimientos
  - Páramos

Se sugiere reconocer que cada uno de estos hidrosistemas tiene un funcionamiento diferente y que así mismo tiene unos servicios ecosistémicos (SE) con mayor fortaleza. Algunos de los SE ven amenazados por la práctica de actividades antrópicas realizadas por las poblaciones que allí residen teniendo como consecuencia impactos en toda la cuenca y efectos acumulativos aguas abajo. De acuerdo con Dudgeon (2008), las principales amenazas en los ecosistemas fluviales en América Latina están dados por la deforestación,





la agricultura, el crecimiento de la población humana y la generación de energía hidroeléctrica, lo que genera un gran reto para la conservación de estos ecosistemas frente a las actividades de la sociedad en la cuenca. Adicionalmente, se reconoce que existen otras amenazas de tipo antrópico como las que generan las prácticas de agricultura, pesca, ganadería, minería; de la mano de una sobre demanda del recurso hídrico por los asentamientos humanos, que a su vez tienen implicaciones en la calidad del agua por vertimientos (residenciales e industriales).

### **1.3.1 Aproximación para la implementación de los principios de la ecohidrología en la gestión integrada del recurso hídrico**

Reconociendo la complejidad de los hidrosistemas, en los que existen fuertes relaciones entre los sistemas hidrológicos, sociales y ecológicos, una visión ecohidrológica favorece el entendimiento de las mismas. La ecohidrología es una forma científica de gestionar el ciclo del agua con el fin de lograr el uso sostenible del recurso hídrico por parte de las sociedades, bajo un esquema de sostenibilidad y trabajo interdisciplinario. A nivel mundial se han reportado múltiples trabajos con enfoque ecohidrológico, los cuales son abordados de diferentes maneras.

Esta sección se inspira en el artículo *“Ecohydrological system solutions to enhance ecosystem services”* por Wagner et al. (2009). En esta referencia se presentan cuatro (4) grandes pasos metodológicos para la implementación de los principios de la ecohidrología, estos incluyen: 1) monitoreo de amenazas, 2) evaluación de las relaciones causa - efecto, 3) elaboración de métodos y 4) desarrollo de soluciones de sistemas.

De esta forma, el inventario y análisis de información seguirá la estructura que brinda estos cuatro pasos que proponen estos autores. Gran parte de la motivación del presente proyecto tiene que ver con las diferentes problemáticas (amenazas) que actualmente se identifican para los hidrosistemas de estudio seleccionados, por consiguiente, se espera que esta revisión de la literatura bajo este marco de trabajo facilite la concepción de una metodología robusta que facilite no sólo el estudio y comprensión de las diferentes





dinámicas biogeofísicas, sino también el desarrollo de herramientas de soporte a la toma de decisiones para la solución de los problemas identificados.

Con el fin de evidenciar, establecer, promover el manejo y el bienestar del recurso hídrico, también se deben considerar políticas junto con normatividades que sean incorporadas a los objetivos económicos y sociales de la región. En el mismo orden de ideas esto contribuye en el ejercicio de identificar y disminuir el impacto ambiental asociado a algunas actividades o a los impactos de las mismas dinámicas de los hidrosistemas. Es así como a través de los objetivos metodológicos de la propuesta contribuyen a una aproximación integral del manejo de los recursos hídricos. Tomando como referencia a Wagner et al. (2009), a continuación se describen cada uno de los objetivos (pasos) y la estrategia para su desarrollo.

- 1) El primer objetivo (paso) mencionado en la metodología es el **monitoreo de amenazas**, en el cual se identifican los problemas potenciales asociados en áreas forestales, servicios públicos domiciliarios (aguas residuales y disposición final de los residuos), minería, variabilidad climática, actividad antrópica, actividades agrícolas, ganadería y turismo, sobredemanda de recurso hídrico frente a la baja oferta, entre otros. Todos estos generan impactos sobre el territorio y riesgos relacionados con salubridad tanto del agua como de la comunidad y la oferta hídrica. Adicionalmente, también se ven afectados factores socio-económicos en cada municipio asociado a cada uno de estos hidrosistemas.
- 2) Teniendo en cuenta la descripción anterior se desarrolla un segundo objetivo asociado a la **evaluación de la relación causa-efecto**, la cual implica caracterización general de la amenaza y jerarquización de los diferentes factores involucrados, de tal forma que se identifiquen los servicios ecosistémicos como: los servicios de aprovisionamiento, que corresponden a los productos que suministran los ecosistemas, los servicios de regulación, que corresponden a los beneficios derivados de la regulación de los procesos que ocurren en los ecosistemas y los servicios de soporte que son aquellos que favorecen el hábitat para el establecimiento de la biodiversidad, los ciclos de nutrientes y la formación de suelo





(MEA, 2005). En alguna medida algunos o todos estos servicios se ven afectados por las amenazas y se requiere asegurar la aplicabilidad de las metodologías, protocolos y modelamiento propuestas por los entes de control encargados de la gestión de los recursos hídricos. Para el caso Colombiano se cuenta con los Protocolos de monitoreo (IDEAM, 2007; OMM, 1994), modelación hidrológica e hidráulica (Domínguez, 2000), en cuanto a laboratorio de calidad de aguas los descritos por *Standard Methods* o la Norma ISO. Basado en este análisis se determina el estudio a gran escala (campo) o a microescala (laboratorio) evidenciando el efecto y de esta manera validar procesos.

- 3) Adicionalmente, el tercer objetivo está relacionado con la **elaboración de métodos**, utilizando herramientas para mejorar la capacidad de asimilación frente a impactos, controlar las causas y disminuir las amenazas.
- 4) Finalmente, el cuarto objetivo hace referencia al **desarrollo de soluciones de sistemas**, en donde se vinculan los métodos elaborados en los objetivos anteriores, de manera que se evalúan los servicios ecosistémicos y el factor socio-económico, garantizando el desarrollo sustentable y preservación del recurso hídrico de cada sitio.

Estos 4 objetivos deben contribuir a la aplicación de métodos para integrar los habitantes de los diferentes territorios de cada hidrosistema, sensibilizando en educación ambiental y manejo de riesgos a las diferentes comunidades, fortalecimiento de capacidades sociales y comunitarias, donde se pueda construir un espacio de concertación y comunicación. Así se genera un ambiente propicio para acceder y aprovechar a los servicios ecosistémicos de cada hidrosistema. Contribuyendo a un esquema con enfoque ecohidrológico para la toma de decisiones en la reglamentación o iniciativas enmarcadas en la PNGIRH.

En la Tabla 3 que se presenta a continuación, se muestra un esquema con los descriptores claves de estos cuatro componentes o pasos metodológicos desde una perspectiva ecohidrológica.





**Tabla 3 Objetivos y características de los cuatro pasos en la metodología para la implementación de los principios de la Ecohidrología en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y en el desarrollo de las soluciones a los hidrosistemas.**

Objetivo	Características
<p><b>1. Monitoreo de amenazas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación y cuantificación de una amenaza, su dinámica estacional y / o espacial y su efecto en los sistemas sociales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investigación impulsada por la demanda: la amenaza es reconocida por las partes interesadas como las principales, se establecen problemas existentes y potenciales.</li> <li>Implica métodos de evaluación cualitativos y cuantitativos.</li> <li>Monitorea para la amenaza sus causas y consecuencias.</li> </ul>
<p><b>2. Evaluación de las relaciones causa-efecto:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cuantificación de las relaciones causa-efecto que determinan la amenaza y sus causas.</li> <li>Identificación de la jerarquía de factores que influyen en la dinámica de la amenaza.</li> <li>Cuantificación de la resiliencia (o resistencia) de la cuenca y / o sus elementos individuales</li> <li>La evaluación de la capacidad de carga como factor clave que configura la prestación de servicios ecológicos para la sociedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basado en el análisis de los resultados del monitoreo de amenazas.</li> <li>Implica investigación experimental adicional tanto a gran escala (en el campo) y microescala (laboratorio) y / o validación de los resultados obtenidos.</li> <li>Implica métodos de modelado para anticipar el comportamiento del sistema y predicciones de corto / largo plazo.</li> </ul>
<p><b>3. Elaboración de métodos:</b></p> <p>Elaboración de herramientas y métodos basados en la metodología ecohidrológica para mejorar la capacidad de asimilación frente a impactos y / o protección de elementos individuales del sistema</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se elaboran métodos para: i) el control de las causas y consecuencias de la amenaza, y / o ii) el control de la presencia de la amenaza.</li> <li>Los métodos hacen uso de las relaciones causa-efecto identificada en el paso anterior.</li> </ul>





Objetivo	Características
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Si es posible, los métodos reflejan la jerarquía de factores identificados en el paso anterior.</li><li>• Cada método se centra en un elemento individual del sistema.</li><li>• La posible infraestructura existente se considera como una herramienta para la regulación hidrológica (armonización).</li></ul>
<b>4. Desarrollo de soluciones de sistemas:</b> elaboración de una solución de sistema y su integración con el sistema social.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vincular los métodos elaborados en el paso anterior de forma sinérgica.</li><li>• Identificación y evaluación económica de los servicios ecosistémicos relacionados con el sistema.</li><li>• Identificación y evaluación de otros beneficios sociales.</li></ul>

Fuente: Adaptado al español de (Wagner et al., 2009)





## 2 ESTADO DEL CONOCIMIENTO, INVENTARIO Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

### 2.1 GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN

Con el fin de identificar los documentos que indicaran el estado del conocimiento en cada uno de los hidrosistemas se procedió a conformar una lista de las principales instituciones con trabajos en los sitios, como se muestra a continuación:

- Ciénaga de Ayapel
  - José Luis Marrugo Negrete.  
Grupo de Investigación Aguas, Química Aplicada y Ambiental  
Universidad de Córdoba  
jmarrugo@correo.unicordoba.edu.co  
Carrera. 6ª # 76 – 103. Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental  
Montería – Córdoba
  - Nicolás Ordoñez  
CORPOAYAPEL  
corpoayapel@une.net.co  
Carrera 25 # 3 - 45, oficina 229  
Medellín, Antioquía
  - José Fernando Tirado Hernández  
Director General  
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y DEL SAN JORGE – CVS  
direccion@cvs.gov.co  
cvs@cvs.gov.co





Carrera 6 N° 61-25 Barrio los Bongos  
Montería

- Néstor Jaime Aguirre Ramírez  
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
Grupo GeoLimna  
U. de A. Ciudadela Universitaria  
Calle 67 53-108 Of. 20-403  
Medellín, Antioquía
- Francisco Mauricio Toro Botero  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MINAS  
fmtoro@unalmed.edu.co  
Bloque M2 – 102 - Facultad de Minas  
Medellín, Antioquia
- Liliana Quiroz Aguas  
Directora General  
CORPOMOJANA  
lquiroz@corpomojana.gov.co  
amenco@corpomojana.gov.co  
corpomojana@corpomojana.gov.co  
Cra 21 # 21A-44  
San Marcos – Sucre
- Ciénaga de Zapatosa
  - Kaleb Villalobos Brochel  
Director general  
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CESAR - CORPOCESAR  
direcciongeneral@corpocesar.gov.co  
atencionalciudadano@corpocesar.gov.co  
Carrera 9 No. 9 - 88  
Valledupar, Cesar





- Sandra P. Vilardy Quiroga  
Decana Facultad de Ciencias Básicas  
Universidad del Magdalena  
Carrera 32 No. 22 - 08  
Oficina 2F, Edificio Docente  
Santa Marta, Magdalena
- Carlos Francisco Díaz Granados Martínez  
Director general  
Corporación Autónoma Regional del Magdalena – CORPAMAG  
contactenos@corpamag.gov.co  
direccion@corpamag.gov.co  
Av. del Libertador # 32-201  
Santa Marta D.T.C.H., Magdalena
- Cuenca del Rio La Vieja
  - JHON JAMES FERNANDEZ LÓPEZ  
Director general  
Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ  
servicioalcliente@crq.gov.co  
Calle 19 Norte No. 19-55  
Armenia, Quindío
  - María Fernanda Jaramillo Llorente  
UNIVERSIDAD DEL VALLE  
cinarauv@correounivalle.edu.co  
maria.f.jaramillo@correounivalle.edu.co  
Calle 13 No 100 – 00. Edificio 341  
Ciudad Universitaria Meléndez  
Cali – Valle
  - Carlos Arturo Martínez Cano  
UNIVERSIDAD DEL VALLE  
cinarauv@correounivalle.edu.co





carlos.martinez.c@correounivalle.edu.co

Calle 13 No 100 – 00. Edificio 341

Ciudad Universitaria Meléndez

Cali – Valle

- Pedro León García Reinoso  
Programa de Ingeniería Civil  
UNIVERSIDAD DEL QUINDIO  
pedrogarcia@uniquindio.edu.co  
Bloque de Ingeniería, Edificio T, piso 3.  
Armenia, Quindío

Adicionalmente los listados en la Tabla 4

**Tabla 4 Directorio de profesionales convocados**

Nombre	Apellido	Institución	Correo electrónico	Sitio
Omar	Vargas	IDEAM	nvargas@ideam.gov.co	Macrocuencia
Fabio	Bernal	IDEAM	fbernal@ideam.gov.co	Macrocuencia
Jorge	Escobar	PUJ	jorge-escobar@javeriana.edu.co	Macrocuencia
Ana Carolina	Santos	IAvH	asantos@humboldt.org.co	Macrocuencia
Erasmus	Rodríguez	UNAL	earodriguezs@unal.edu.co	Macrocuencia
Nicolás	Duque	UNAL	nduqueg@unal.edu.co	Macrocuencia
Juliana	Delgado	TNC	jdelgado@tnc.org	Macrocuencia
Héctor	Angarita	TNC*	flector@gmail.com	Macrocuencia
Carlos	Rogelis	TNC	crogelis@tnc.org	Macrocuencia
Carlos	Rivera	PUJ	crivera@javeriana.edu.co	Macrocuencia
Javier	Maldonado	PUJ	maldonadoj@javeriana.edu.co	Macrocuencia
Cesar	Ortiz	PUJ	c.ortiz @javeriana.edu.co	Macrocuencia
Gabriel	Pinilla	UNAL	gapinillaa@unal.edu.co	Macrocuencia
Doris	Suaza	DNP	dosuaza@dnp.gov.co	Macrocuencia
Diana	Vargas	CORMAGDALENA	Diana.Vargas@cormagdalena.gov.com	Macrocuencia
Aníbal	Pérez	PUJ	anibaljoseperez@gmail.com	Macrocuencia
Nathaly	Triviño	PUJ	nathalyt92@gmail.com	Macrocuencia
Carolina	Pérez	PUJ	carperozroj@unal.edu.co	Macrocuencia
Úrsula	Jaramillo	IAvH	ujaramillo@humboldt.org.co	Macrocuencia





Nombre	Apellido	Institución	Correo electrónico	Sitio
Alejandro	Zuluaga	Universidad Católica	mazgo18@gmail.com	Macrocuena
Cristian	Plazas	Fondo de Adaptación	cgplazasr@gmail.com	Macrocuena
Linda Irene	Gómez Fernández	MADS	lgomez@minambiente.gov.co	Macrocuena
Diana	López	PNUD	diana.lopez@undp.org	Macrocuena
Diego	Castro	EPA	subtecnica@epa.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Jhony	Cardona	CARDER	jgalvis@carder.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Mónica	Salazar	CARDER	msalazar@carder.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Héctor	Aristizabal	CVC	hector-fabio.aristizabal@cvc.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Luis	Parra	CVC	luis-guillermo.parra@cvc.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Jorge	Vélez	UNAL Manizales	jjvelezu@unal.edu.co	Cuenca Río La Vieja
Diego	Paredes	UTP	diparede@utp.edu.co	Cuenca Río La Vieja
Piedad	Correal	Defensoría Quindío	quindio@defensoria.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Faber	Álvarez	CDGRD	cdgrd.quindio@gestiondelriesgo.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Orlando	Martínez	CRQ	omartinezarenas@crq.gov.co	Cuenca Río La Vieja
Patricia	Rojas	CRQ	projassanchez@crq.gov.co	Cuenca Río La Vieja

La lista anterior fue complementada de común acuerdo con La Fundación Natura. Se procedió a hacerles llegar a las personas de contacto, por medio físico y electrónico los oficios en los que se les manifestaba el interés de socializar los objetivos del proyecto y la obtención de la información documental que tuvieran disponible. Estas comunicaciones se realizaron oficialmente por la Fundación Natura y se tuvo un acompañamiento de parte de la presente consultoría (Ver Anexo F Oficios enviados a los convocados a socializar y retroalimentar el proyecto (Anexo Digital)). Como respuesta, algunas de las entidades o personas convocadas contestaron afirmativamente y compartieron información vía correo electrónico, de otras, la coordinación por parte de la Ingeniera Beatriz Hernández se presentó personalmente a las entidades y se aseguró de conseguir la información. Aún hay pocas entidades de las que no se ha recibido respuesta. Se ha logrado un avance en la conformación de la base de datos documental acerca del estado del conocimiento de la MCMC y los tres hidrosistemas de interés, pero aún falta información referente a los



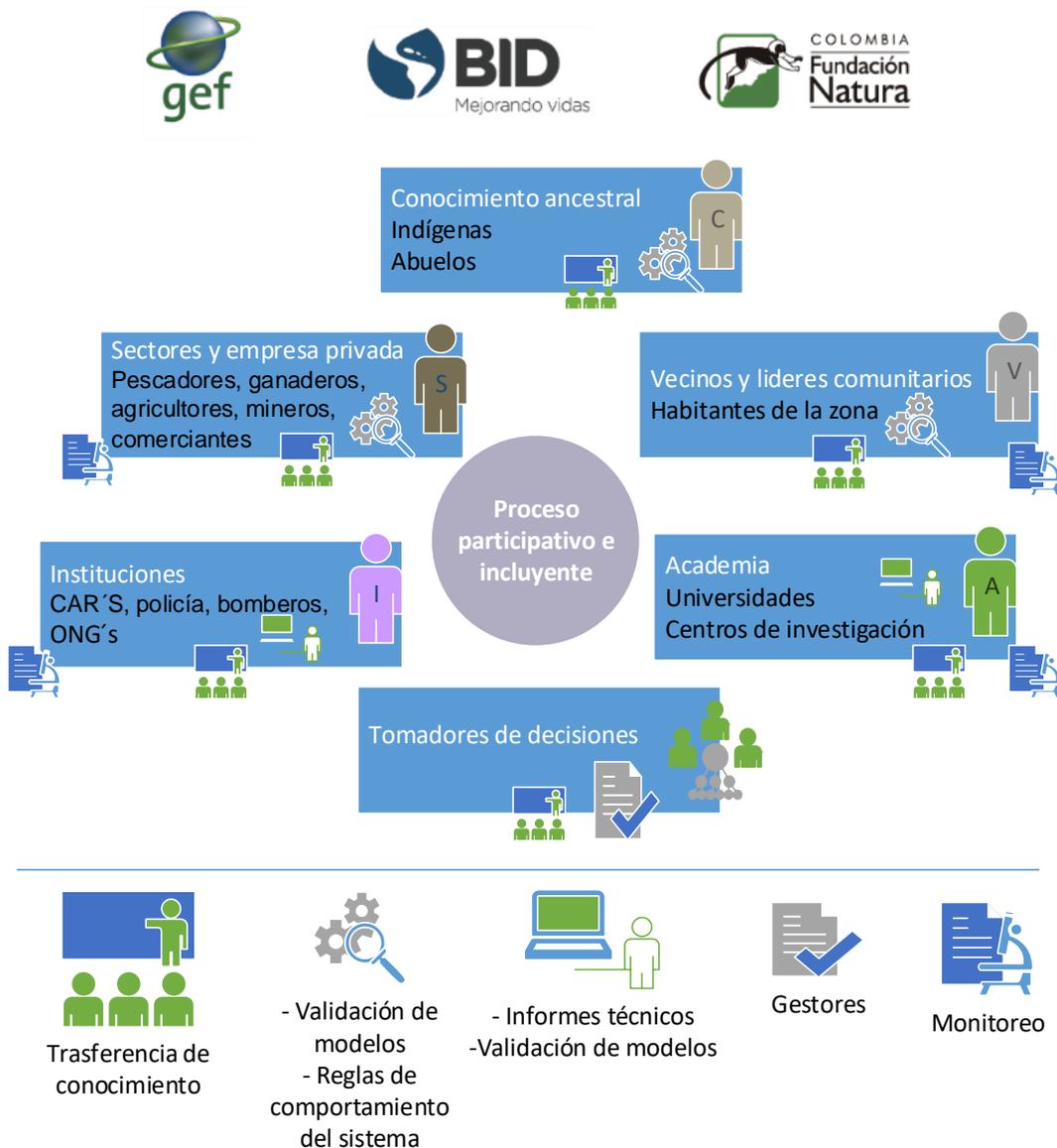


estudios específicos que las Corporaciones autónomas han realizado, por lo que se propone que se debe fortalecer los canales de comunicación de estas entidades y si es posible tener un(a) profesional que desde la entidad apoye la consecución de información se el canal de comunicación entre La Fundación y la Entidad de interés. Se recalca el apoyo desde la FN al ejercicio de obtención de la información por parte de la Coordinadora del componente 2 “Gestión de la salud de los ecosistemas”, quien a través de viajes y comunicaciones electrónicas ha entregado información a la consultoría. Adicionalmente, la consultoría bajo su experticia y trayectoria en proyectos relacionados con hidrología, hidráulica e investigaciones en el entorno académico ha contactado a varias fuentes de información y conseguido documentos y conceptos que han aportado al planteamiento de las rutas a seguir en el Modelamiento Ecohidrológico en los sitios de interés del proyecto GEF-Magdalena.

Dentro de la gestión de la información no solo se deben disponer de profesionales de contacto, sino también líderes comunitarios (pescadores, ganaderos, agricultores, mineros, comerciantes y profesores). Esto tiene un impacto a largo plazo, pues dentro de la concepción del proyecto está la socialización de las metodologías y resultados, enmarcando su desarrollo en una filosofía de proceso participativo e incluyente. En la Figura 6 se proponen los actores en los hidrosistemas de interés, de ellos se puede obtener información acerca de su funcionamiento (patrones espaciales y temporales, recurrencia de eventos extraordinarios, impactos sobre la biota y actividades productivas, mecanismos de ordenación del territorio, iniciativas de restauración del ecosistema, entre otros).

Con el fin de darle soporte y continuidad a los planteamientos de la modelación ecohidrología, en la Figura 6 se indica como cada uno de los actores cumple su rol en: transferencia de conocimiento, establecimiento de reglas de comportamiento del hidrosistema, elaboración de informes técnicos, validación de modelos, gestores en el territorio, y participantes en el monitoreo del hidrosistema. Específicamente en la transferencia de conocimiento se plantean hacer cursos con la comunidad y un diplomado con las instituciones, el detalle se puede ver en la Tabla 14, y el monitoreo participativo en el Fase 2 Monitoreo y posproceso.





Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6** Esquema general de los actores en los hidrosistemas y su papel en el proceso participativo de modelación ecohidrológica

La consultoría realizó una jornada de socialización y reconocimiento en la Universidad de Magdalena y en la Ciénaga de Zapatosa. Para el caso de la Ciénaga de Zapatosa se incluye la información en el Anexo D Memoria de la jornada de socialización y reconocimiento del complejo cenagoso de Zapatosa (Anexo Digital), también incluye el registro audiovisual (fotografías tomadas con Drone, en superficie y videos). La jornada de reconocimiento al



complejo cenagoso de Zapatosa se hizo en conjunto con Beatriz Hernández (Fundación Natura), coordinadora del componente 2, el consultor de este componente Nelson Obregón Neira, el profesor Jorge Alberto Escobar Vargas de la Pontificia Universidad Javeriana y dos investigadoras del Instituto Javeriano del Agua Ana Carolina Santos y Carolina Pérez Rojas.

Adicionalmente, para desarrollar un proceso participativo y de primera mano del reconocimiento de los hidrosistemas tipo ciénagas el equipo conformado por el consultor de este componente Nelson Obregón Neira, el profesor Jorge Alberto Escobar Vargas de la Pontificia Universidad Javeriana y dos investigadoras del Instituto Javeriano del Agua Ana Carolina Santos y Carolina Pérez Rojas, realizaron una visita a la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y tuvieron una reunión con Parques Nacionales e INVEMAR, el día 19 de febrero de 2018. De esta reunión se resalta la identificación de los principales factores que amenazan las ciénagas del Caribe Colombiano:

1. Pérdida de la conectividad hídrica que afecta el flujo de materia y organismos.
2. Procesos acelerados de sedimentación.
3. Eutrofización.
4. Pérdida de la recirculación en la ciénaga.
5. Impacto de obras civiles asociadas a proyectos viales
6. Impacto de actividades agropecuarias y ganaderas

Se considera de interés especial el caso de la CGSM debido a varias razones: 1) Es un humedal tipo ciénaga en el que algunos procesos se replican en las ciénagas de Zapatosa y Ayapel, 2) Es un sitio Ramsar y pertenece al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) donde se puede ver el manejo en cuanto su valioso interés de conservación o protección, 3) Es la única ciénaga en Colombia con un estudio antecedente en modelación con enfoque ecohidrológico como el desarrollado por CIOH e Invemar en 2003 (Tuchkovenko & Calero, 2003).





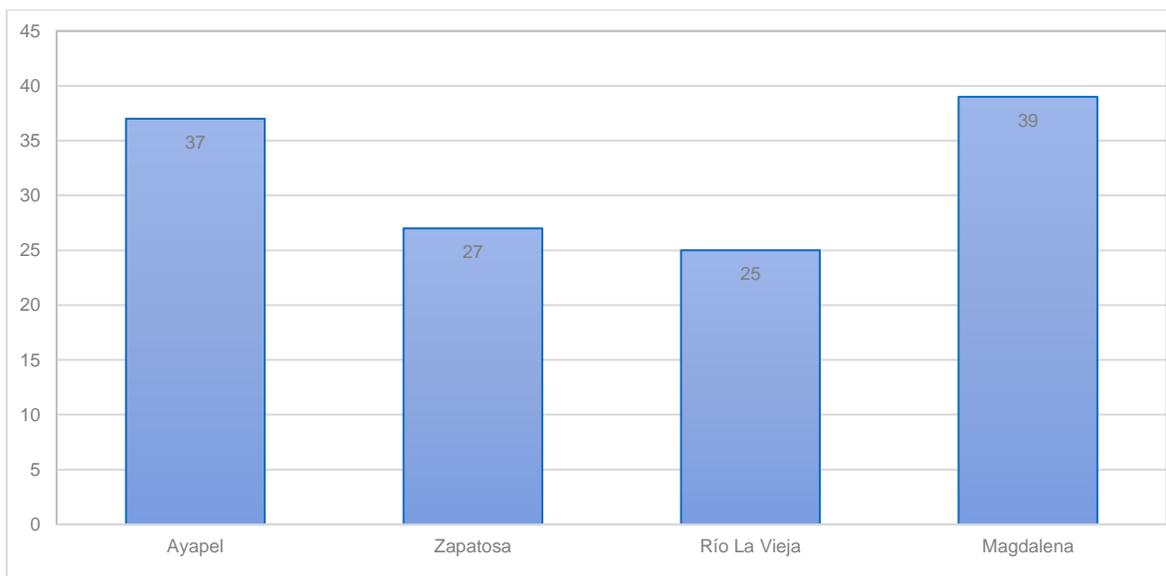
### 2.1.1 Inventario de la información

Como resultado de las consultas hechas en bases de datos bibliográficas de universidades o por portales institucionales (internet), junto con el intercambio de correos electrónicos con algunos de los profesionales contactados y visitas a campo, se consolidó una primera versión del inventario de la información. Este inventario se puede consultar en el Anexo B Base de datos del inventario de la información documental (Anexo Digital), el cual debido a su extensión y formato se encuentra y presenta en modo digital. Siendo coherentes con lo expuesto anteriormente se han relacionado los principales estudios, reportes, artículos y otros documentos en general clasificándolos de acuerdo a los cuatro objetivos (pasos metodológicos) sugeridos por Wagner et al (2009). De esta forma se han diseñado cuatro tablas en formato \*.xls (Excel) correspondientes a los hidrosistemas de interés: 1) Ciénaga de Ayapel, 2) Ciénaga de Zapatosa, 3) Cuenca del río La Vieja, y 4) Cuenca Magdalena-Cauca. El archivo de Excel se encuentra en el Anexo C Inventario de la información documental (\*.xls Anexo Digital). A continuación, se describen los atributos de la tabla del inventario y a manera de ejemplo solo se muestra lo reportado para la Ciénaga de Ayapel.

La búsqueda se realizó usando las bases de datos Scopus, Google Scholar, Science Direct entre otras. Los criterios de inclusión a tener en cuenta fueron: artículos originales, descriptivos y experimentales, tesis, documentos, reseñas, reportes, informes de consultoría entre otros. Los cuales hacen referencia a la caracterización, identificación preliminar de los problemas, amenazas, conflictos, los cuales sirven de evidencia para el abordaje de la modelación ecohidrológica en cada uno de los sitios propuestos. El periodo de búsqueda fue de 1999 a 2018. Adicionalmente se incorporó la información facilitada desde la coordinación del componente 2 y la transmitida por las profesionales de la FN en Montería y Armenia.

De acuerdo a los resultados obtenidos del inventario, se alcanzaron a identificar un total de 128 documentos, de los cuales, como se observa en la Figura 7 hubo mayor número de textos en la Macrocuena Magdalena-Cauca, seguido de Ayapel, tercero Zapatosa y por último la cuenca Río La Vieja.





**Nota: El eje de las abscisas indica el hidrosistema y en de las ordenadas el número de documentos consultados**

**Figura 7 Número de documentos consultados para cada uno de los hidrosistemas seleccionados y para la Macrocuenca**

Adicionalmente, se identificó en cada artículo las amenazas de cada sitio; las amenazas más frecuentes en los documentos consultados para los 3 sitios y para la MCMC son: 1) Actividad agrícola, 2) Inundación, y 3) Eutrofización.

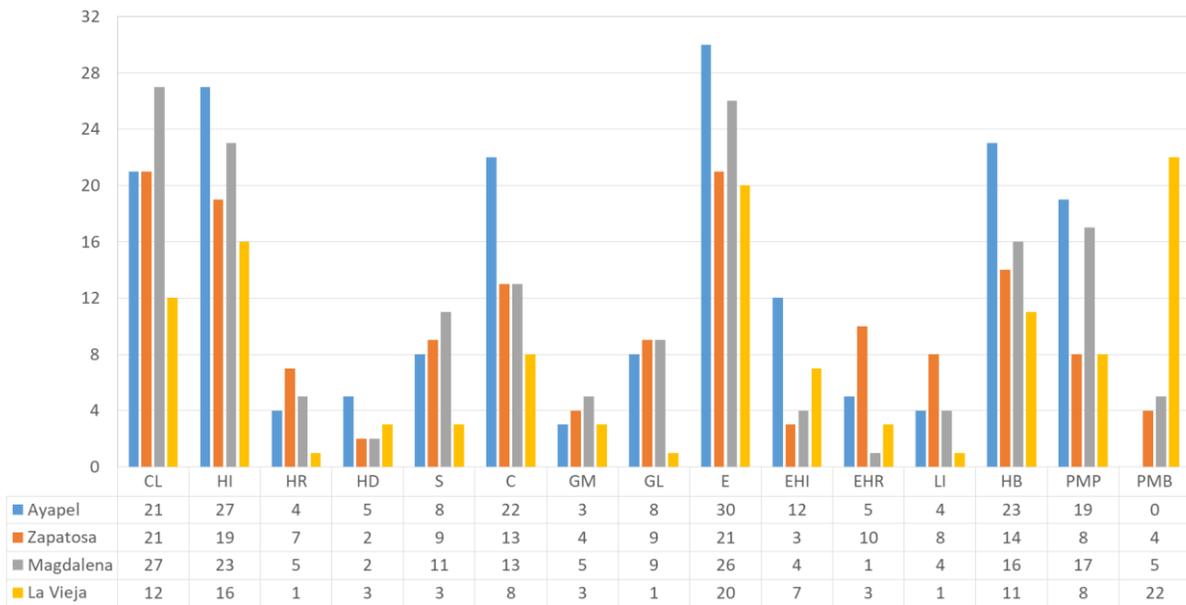
Se considera que este análisis permitirá a las autoridades ambientales o entidades territoriales y a los usuarios del recurso hídrico avanzar en el desarrollo de acciones preventivas y de manejo de los conflictos que surjan en torno al uso compartido del agua y del suelo. De otro lado se observa que el sistema de información geográfica, hidrográfica, morfométrica, hidrogeológica y gestión del riesgo se encuentran con poca o ninguna información con resoluciones espaciales y temporales detalladas.

Adicionalmente, se identificaron las siguientes temáticas para cada sitio: CL: Climatológico, HI: Hidrológico, HR: Hidráulico, HD: Hidrodinámico, S: sedimentológico, C: Calidad de agua, GM: Geomorfología, GL: Geología, E: Ecosistémico, EHI: Ecohidrológico, EHR:





Ecohidráulico, LI: Limnológico, HB: Hidrobiológicos, PMP: Plan de manejo pesquero, y PMB: Parámetros microbiológicos. En la siguiente figura se muestra que la mayor cantidad de estudios se han realizado alrededor de la temática ecosistémico, hidrológica y climatología, por el contrario existe baja producción en cuanto a la hidrodinámica. Se advierte que estas cifras representan la temática más no el alcance o profundidad de los estudios.



**Nota: El eje de las abscisas indica las temáticas que abordan los documentos por cada uno de los sitios, y el eje de las ordenadas el número de documentos consultados**

**Figura 8 Identificación de las temáticas para cada sitio (Ayapel, Zapatoza, cuenca del Río La Vieja y Cuenca Magdalena-Cauca)**

A partir de la figura anterior se observa, que la Ciénaga de Ayapel y la MCMC tienen mayor cantidad de información que hace referencia a los estudios climatológicos, hidrológicos, calidad de agua, ecosistémico, hidrobiológico y finalmente plan de manejo pesquero, el cual tiene un volumen de información representativo seguido de Zapatoza y la cuenca del Río La Vieja.





De acuerdo con los resultados obtenidos en cada uno de los hidrosistemas, se puede evidenciar que la problemática es persistente, que incluye factores bióticos y abióticos y tienen en común problemas de servicios ecosistémicos como:

- SE de Regulación: 1) Regulación del clima, 2) Regulación de agua, 3) Regulación de erosión, y 4) Tratamiento de residuos.
- SE de Soporte: 1) Formación de suelo, y 2) Ciclo de nutrientes.
- SE de Aprovisionamiento: 1) Agua potable, 2) Materias primas.

La suma de deterioro es causada por diferentes factores como actividades antrópicas, variabilidad climática, degradación de recursos hídricos, fenómenos físicos y químicos y actividades de explotación, así como también la cobertura de servicios públicos y su relación con la problemática ambiental y de salud. Por ello se han venido explorando durante años las amenazas constantes de estos hidrosistemas donde se estudian variables ambientales, sociales y económicas.

Finalmente, se mencionan algunos problemas o limitantes a tener en cuenta, que coinciden con algunos POMCA y la revisión de literatura:

- No hay suficientes estaciones meteorológicas en la cuenca. Por tanto, se ve afectada la agricultura.
- Los acuíferos se ven contaminadas debido a aguas residuales de origen antrópico y provenientes de explotaciones mineras.
- Sobreexplotación artesanal de los acuíferos. Sin control técnico, conlleva a la contaminación de los mismos.
- La falta de estudios adecuados, e implementación de sanciones por las autoridades competentes, a la explotación no controlada.





### **Paso 1: Monitoreo de amenazas**

Con este marco de trabajo para el primer paso metodológico “**Monitoreo de amenazas**” los descriptores son: Autor, Año, Tipo de Amenaza (o causalidad), Temática (Climatológico, Hidrológico, Hidráulico, Hidrodinámico, Sedimentológico, Calidad de agua, Geomorfología, Geología, Ecosistémico, Ecohidrológico, Ecohidráulico, Limnológico, Hidrobiológicos, Plan de manejo pesquero y Parámetros microbiológicos), y Rasgos descriptores (Características) del estudio según sea de tipo: (i) Investigación impulsada por la demanda: la amenaza es reconocida por las partes interesadas, se identifican las principales amenazas, se establecen problemas existentes y los potenciales, (ii) Métodos de evaluación cualitativos y cuantitativos; y/o (iii) Monitorea para la amenaza sus causas y consecuencias. En la Tabla 5 se muestra un ejemplo para solo unos registros del inventario.

### **Paso 2: Evaluación de las relaciones causa-efecto**

Para el segundo paso metodológico “**Evaluación de las relaciones causa-efecto**” los descriptores son: Título, Autor (año), Tipo de Amenaza abordada o causalidad (ejemplo: Suministro de agua para consumo humano, Actividades agropecuarias, uso en la recreación y turismo, Cambio climático, Deforestación). También se incluyen otros campos tales como: (1) Tipificación de Causa-Efecto, (2) Jerarquía de factores (ejemplo: Hombre, Factores físicos-químicos, Factores ambientales); (3) Cuantificación de la resistencia; (4) Servicios ecosistémicos (S.E.); y (5) Modelamiento-Protocolo. En la Tabla 6 se muestra un ejemplo para solo unos registros del inventario.

### **Pasos 3 y 4: Elaboración de métodos y Desarrollo de soluciones de sistemas**

Para los otros dos pasos metodológicos “**Elaboración de métodos**” y “**Desarrollo de soluciones de sistemas**” los estudios reportados resultan escasos. No obstante, se han incorporado otros descriptores siguiendo lo expuesto en la Tabla 3 del anterior capítulo. En la Tabla 7 se muestra un ejemplo para solo unos registros del inventario.





**Tabla 5 Ejemplo de inventario de información para el paso 1 Monitoreo de las amenazas, caso Ciénaga de Ayapel**

Título	Autor/Año	Amenaza	Temática																Características									
			CL	HI	HR	HD	S	C	GM	GL	E	EHI	EHR	LI	HB	PMP	PMB	A	B	C								
Modelación del comportamiento hidrosocial de la ciénaga de Ayapel (Córdoba) bajo diferentes escenarios de cambio climático	Serna (2016)	1)Actividad minera, 2)Explotación de peces, 3)Ganadería extensiva, 4)Quema de material extensivo, 5)Variación del clima, 6) Contaminación de agua por mercurio	x	x					x					x	x			x	x	x			x			x		
Sistema cenagoso de Ayapel como posible sitio Ramsar en Colombia	Puerta (2016)	1) Degradación del hábitat, 2) crecimiento poblacional 3) asentamiento humano												x					x							x		x
Diseño de sistemas de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio La Mojana.	Ibañez (2015)	1) Fallos estructurales en la infraestructura de los sistemas, 2)Contaminación biológica y química de aguas, 3) Ruptura de tuberías, 4) Obras de captación, 5) Calidad de agua			x					x										x						x	x	x
Modelación del sistema simplificado río San Jorge - ciénaga de Ayapel	Torres (2015)	1)Actividades domésticas, 2) Actividades agropecuarias e industriales	x	x				x	x		x			x						x					x	x		

Notas: 1) Temáticas: CL: Climatológico, HI: Hidrológico, HR: Hidráulico, HD: Hidrodinámico, S: sedimentológico, C: Calidad de agua, GM: Geomorfología, GL: Geología, E: Ecosistémico, EHI: Ecohidrológico, EHR: Ecohidráulico, LI: Limnológico, HB: Hidrobiológicos, PMP: Plan de manejo pesquero, PMB: Parámetros microbiológicos. 2) Características: A: Investigación impulsada por la demanda: la amenaza reconocida por las partes interesadas como las prioridades: problemas existentes y potenciales. B: Implica métodos de evaluación cualitativos y cuantitativos. C: Supervisa tanto la amenaza como sus causas y consecuencias.



**Tabla 6 Ejemplo de inventario de información para el paso 2 Causa – Efecto, caso Ciénaga de Ayapel**

Título	Autor (Año)	Amenaza	Causa - Efecto	Jerarquía de factores	Cuantificación de la resistencia	Servicios Ecosistémicos	Modelamiento-Protocolo*
Diseño de sistemas de pozos para la captación de agua subterránea: caso de estudio La Mojana.	Ibañez (2015)	1) Fallos estructurales en la infraestructura de los sistemas, 2) Contaminación biológica y química de aguas, 3) Ruptura de tuberías, 4) Obras de captación, 5) Calidad de agua	Uso de agroquímicos en la actividad agrícola	Factores físicos-químicos		1) Regulación del clima, 2) Regulación de agua, 3) Regulación de erosión.	
Evaluación comparativa de algunas características limnológicas de seis ambientes lenticos de Colombia	Hernández (2013)	1) Intervención antrópica, 2) Actividad agrícola, 3) Eutrofización, 4) Inundación	Uso de agroquímicos en la actividad agrícola	Hombre		1) Regulación del clima, 2) Regulación de agua, 3) Regulación de erosión.	1) Modelamiento matemático, 2) Protocolo IDEAM, 3) Sthandart Methods 2012, 4) ISO
Fluctuación de los ensambles planctónicos en la ciénaga de Ayapel (Cordoba-Colombia)	Jaramillo (2012)	1) Resuspensión de sedimentos, 2) Resiliencia en ecosistemas, 3) Contaminación de cuerpos de agua	Inundación, Uso de agroquímicos en la actividad agrícola	Factores ambientales		1) Formación de suelo, 2) Ciclo de nutrientes, 3) Aprovechamiento de peces	
Interacciones tróficas y productividad íctica en el sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba Colombia	Marín (2012)	1) Contaminación de cuerpo de agua, 2) Intervención antrópica, 3) Expansión de fronteras agropecuarias, 4) Desarrollo agroindustrial, 5) Actividad minera, 6) Deforestación, 7) Explotación pesquera.	Inundación, Uso de agroquímicos en la actividad agrícola	Factores ambientales		1) Formación de suelo, 2) Ciclo de nutrientes, 3) Aprovechamiento de peces	



**Tabla 7 Ejemplo de inventario de información para el pasos 3 y 4 Elaboración de métodos y Desarrollo de soluciones de sistemas, caso Ciénaga de Ayapel**

Causa: Efecto	Herramientas	Monitoreo	Anexo
<b>Acción antrópica:</b>	Aspectos generales a tener en cuenta para el desarrollo de programas de monitoreo:	<b>Fuentes hídricas</b>	
Sobreexplotación de pesca y ganadería	Selección del sitio de muestreo.-medición de caudal.	Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas	
Contaminación de agua	Normas de seguridad, protección personal y salud.	Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales De Colombia	
Construcción de obras civiles	Toma de muestras.	Programas de monitoreo de calidad del agua y actividades de muestreo, análisis de muestras y programas de monitoreo de fuentes hídricas.	
Caza de fauna silvestre	Llenado de botellas.		
Recolección de leña y fibras vegetales	Muestras de control.	<b>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</b>	
Talas indiscriminadas	Envío y/o entrega al laboratorio.	Monitoreo para: equipo de laboratorio, la seguridad del laboratorio, los procedimientos de muestreo y el desarrollo y la validación de métodos	
Uso inadecuado de suelo	Manejo de residuos generados en campo		
Formación de albardones artificiales		<b>Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua (2007)</b>	
Taponamiento de caños			



## 2.1.2 Estado del inventario y actividades para complementar el inventario

Como trabajo de complementación al inventario presentado, se indican en la Tabla 8 la información faltante y la entidad donde se puede consultar.

ID	Descripción de la información	Ciénaga de Ayapel	Ciénaga de Zapatosa	Cuenca río La Vieja	Entidad a consultar
1	Fotografías aéreas de la zona.	X	X	X	IGAC
2	Imágenes multitemporales satélite de la zona.	X	X	X	CAR's y Pagina Web
3	Archivos geográficos junto con los metadatos de clasificación de cobertura vegetal, junto con el análisis multitemporal.	X	X	X	CAR's
4	Estudios de biodiversidad de la zona.	X	X	X	IAvH
5	Información de la geología y geomorfología detallada.	X	X	X	SGC y CAR's
6	Archivos geográficos de batimetrías.		X	X	IAvH y CAR's
7	Curvas hipsométricas (Solo para ciénagas).		X		IAvH y CAR's
8	Información de aflujos líquidos y sólidos.	X	X	X	IDEAM
9	Serie hidrometeorológicas (precipitación, viento, temperatura, evaporación, niveles) a resoluciones diarias y subdiarias	X	X	X	IDEAM
10	Estudio hidrogeológico.	X	X	X	SGC y CAR's
11	Concentraciones de Hg en aire.	X			U. Córdoba?
12	Datos de monitoreo de calidad de agua, con puntos georreferenciados de siguientes los parámetros:	X	X	X	CAR's, Universidades
	i. SST				
	ii. Hg				
	iii. DQO				
	iv. COT				
	v. pH				
vi. T°C de la columna del agua (Solo para ciénagas)					
13	Estudios históricos de conflictos socio-ambientales.	X	X	X	-
14	Reporte de enfermedades de los últimos años.	X	X	X	Instituto Nacional de Salud
15	Estudios de Impacto ambiental del sector minero y agropecuario.	X	X	X	-
16	Estudio de suelos.	X	X	X	IAvH, CAR's, IGAC





ID	Descripción de la información	Ciénaga de Ayapel	Ciénaga de Zapatosa	Cuenca río La Vieja	Entidad a consultar
17	Estudios de modelación hidrológica e hidráulica	X	X	X	Universidades, Cormagdalena
18	Reportes de tasas de pesca	X	X	X	AUNAP
19	Experiencias de modelación integrada				CIOH ,INVEMAR
20	Estudios específicos del hábitat del Bagre rayado y el Bocachico	X	X	X	*

**Tabla 8 Inventario de la información faltante y las entidades a consultar**

Con el fin de consolidar la base de datos de la información, se planteó una segunda jornada de comunicación por escrito con las entidades relacionadas en la anterior tabla con el fin de indagar el repositorio de la información faltante.

La consultoría contó con un fiel y constante acompañamiento de parte de la Coordinación del componente 2 (Beatriz Hernández), el Coordinador del proyecto (Juan Carlos Alonso), y las gestoras territoriales Luisa Fernanda Cardona y Carolina Useche. A través de comunicados entre la FN y las instituciones locales o regionales se ha obtenido información para el desarrollo de la presente consultoría, como es el caso de información de FA, IDEAM, Corpocesar, CVS, CRQ, Corpomojana, PNUD, UNAL, CARDER, UniQuindío, PUJ y la Inspección Fluvial de El Banco Magdalena. Aun así, en ocasiones no se ha obtenido la totalidad de la información requerida, así como en otros casos se ha obtenido nueva información. Se advierte que una de las dificultades encontradas en la consecución de la información, radica en que las personas responsables o que custodian la información ya no pertenecen a la institución, lo que ha generado un desconocimiento de su repositorio.

Se realizaron jornadas de reconocimiento de las zonas de interés y de socialización con algunos actores locales. La visita de reconocimiento a la Ciénaga de Zapatosa, muestra el reporte en el Anexo D Memoria de la jornada de socialización y reconocimiento del complejo cenagoso de Zapatosa (Anexo Digital) y posterior a la entrega del producto 1 se realizó en la Ciénaga de Ayapel. El informe se encuentra en el Anexo E Memoria de la jornada de socialización y reconocimiento del complejo cenagoso de Ayapel (Anexo Digital), también





incluye el registro audiovisual (fotografías tomadas con Drone, en superficie y videos). Las visitas como los informes contribuyen a la elaboración del modelo conceptual del hidrosistema y por ende favorece la concepción del alcance y objetivo del modelamiento ecohidrológico. Se aclara que en el desarrollo de este capítulo solo se indica el inventario y clasificación de la información, donde cada fuente de información se clasifica por separado. En el siguiente capítulo se describirá de manera integrada el análisis de cada sitio.

En la siguiente tabla se consignan las principales conclusiones de las jornadas de reconocimiento:

**Tabla 9 Conclusiones y comentarios de las jornadas de reconocimiento Ciénaga de Zapatosa y Ciénaga de Ayapel**

Observación	Ciénaga de Zapatosa	Ciénaga de Ayapel
Conectividad hídrica	La visita se llevó a cabo en el régimen de aguas bajas por lo que la navegabilidad de dificulto en algunos sectores.	<ul style="list-style-type: none"><li>• La visita se llevó a cabo en el régimen de aguas bajas por lo que la navegabilidad de dificulto en algunos sectores como en Quebradona, Caño Muñoz y Caño Escobillas.</li><li>• Los caudales reportados en los canales que tenían flujo Caño Barro Caño Seheve no superan los 0.3 m/s</li><li>• Existe evidencia de los procesos de sedimentación en el sector de Caño Seheve.</li></ul>
Amenazas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se observó de primera mano la sobre explotación del recurso pesquero</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se observaron restos de minas de oro abandonadas en la ribera de los Caños, esto amenaza la geoforma y la calidad del agua debida a</li></ul>





Observación	Ciénaga de Zapatosa	Ciénaga de Ayapel
	<ul style="list-style-type: none"><li>Se identificaron pozos de agua subterránea sin un sistema de tratamiento para consumo</li></ul>	contaminación por metales pesados
Biodiversidad	A priori el complejo cenagoso presenta mayor cantidad de biodiversidad que Ayapel	A priori existen lugares en los que es ausente el ruido generado por la fauna





### 3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

#### 3.1 ELEMENTOS CONCEPTUALES

En este apartado del documento se exponen los elementos que se consideran de mayor interés al momento de realizar modelación ecohidrológica. Por un lado, se expondrán las hipótesis de la ecohidrología y el concepto del pulso de inundación. La importancia de conocer cada una de las hipótesis, es que con la selección de una o unas de estas se pueden plantear los objetivos de modelación en cada uno de los sitios a estudiar. El concepto del pulso de inundación es quizás el más reconocido en estudios donde se desee integral el impacto de las dinámicas hidrológicas al ecosistema, y es porque estas dinámicas regulan todo el funcionamiento del mismo.

##### 3.1.1 El concepto de ecohidrología

De acuerdo con el trabajo expuesto por Zalewski et al. (1997), se exponen a continuación las hipótesis de la ecohidrología, esto con el propósito de proveer un marco conceptual de trabajo de la consultoría. Adicionalmente se indica el estado de estas hipótesis en Colombia.

1. Para lograr un entendimiento profundo del régimen hidrológico y de la distribución de la biota en corredores fluviales en el presente, los cambios históricos deben ser analizados e interpretados.

Comentario: Gracias al monitoreo hidrometeorológico desarrollado por IDEAM, el país tiene las tendencias de oferta y demanda hídrica a nivel de subzona hidrográfica como se expone en el Estudio Nacional del Agua. Se reconoce esta labor, pero se debe fortalecer el monitorio para detallar a unidades de análisis más pequeñas. Adicionalmente se observa





la falta de integración del monitoreo de la biodiversidad con el hidrológico, lo que sugiere el diseño de un monitoreo ecohidrológico.

2. Mejoramiento de la capacidad de resistencia, recuperación y amortiguamiento de corredores fluviales.

Comentario: Eventos como los ocurridos en la ola invernal 2010-2011 evidencian como ha disminuido la capacidad de resistencia, recuperación y amortiguamiento de corredores fluviales. De acuerdo con Ricaurte et al. (2017), algunos de los detonantes de la pérdida de SE, son los cambios asociados a los usos de la tierra. Haciendo una proyección a 2025, se muestra que la MCMC es la más vulnerable a los impactos del uso de la tierra, lo que sugiere el diseño de políticas restrictivas (pero conciliadas) de actividades productivas como la minería y agricultura.

3. La vulnerabilidad de los ríos embalses y estuarios depende de los patrones estacionales de procesos hidrológicos y bióticos y puede ser cambiado por el impacto humano.

Comentario: Aplica lo indicado en la hipótesis 2.

4. Las cargas de nutrientes y sedimentos que alcanzan los sistemas acuáticos dependen fuertemente de las perturbaciones inducidas por el hombre sobre las características ecológicas e hidrológicas naturales de la cuenca.

Comentario: Aplica lo indicado en la hipótesis 2.

5. La intensidad y duración de las crecientes son modificadas por las características biológicas de corredores fluviales. Las cuales a su vez son modificadas por el régimen hidrológico.

Comentario: El concepto que reconoce las relaciones bióticas con el régimen hidrológico, es el pulso de inundación. De acuerdo con el comentario de la hipótesis 1 el monitoreo hidrológico, pero para conocer el régimen hidrológico a escalas detalladas espaciales y temporales existe y se debe fortalecer el monitoreo a nivel de sub y micro cuenca.





Adicionalmente hacer el seguimiento de las variaciones (espacio temporal) bióticas de los corredores fluviales con trabajo de campo e interpretación de imágenes provenientes de sensores remotos.

6. El nivel de nutrientes en los ríos es influenciado por los aportes de agua subterránea y por la estructura biótica del valle del río.

7. El transporte y transformación de los contaminantes está altamente influenciado por el régimen hidráulico- hidrológico y por las características ecológicas de los corredores fluviales.

8. La aplicación de aproximaciones ecohidrológicas basados en Sistemas de Información Geográfica (SIGs) a subsistemas de cuencas consistentes de ecotonos y conjuntos elementales, hace de la información hidrológica y ecohidrológica ganada en estas microescalas sea agregable a sistemas en niveles altos de abstracción. El integrador de esta información dentro de consensos hidrológicos conllevará una interpretación más profunda del régimen hidrológica de las cuencas.

Comentario: La consolidación de un banco de información de las instituciones del SINA en el SIAC, ha sido uno de los logros más importantes en el país. Es importante reforzar con la incorporación de información que tenga atributos desde una visión ecohidrológica.

9. El entendimiento comprensivo de los procesos ecohidrológicos y el mejoramiento de las capacidades predictivas forman la base para un manejo eficiente del costo de los sistemas hídricos y de los paisajes.

Comentario: El monitoreo, la implementación de modelos, el conocimiento experto, junto con los procesos participativos con la comunidad favorece el entendimiento del funcionamiento de los hidrosistemas.





10. La optimización de la estructura de las zonas de ecotonos (como las zonas de defensa ribereñas) y de los humedales de planicies de nutrientes desde la cuenca hacia el río u otros cuerpos hídricos aguas abajo.

11. Los índices para el planeamiento predictivo y el manejo sostenible de los recursos hídricos deben estar basados en los datos puntuales/locales y en estudios sobre procesos hidrológicos de gran escala.

### 3.1.2 El pulso de inundación

El pulso de inundación definido por Junk (Junk, Bayley, & Sparks, 1989) reconoce la importancia del intercambio lateral de agua, nutrientes y organismos entre el río y la llanura de inundación. Es reconocido pues este concepto se concentra en el impacto en los organismos y los procesos que se llevan a cabo en las llanuras de inundación. Los procesos de inundación y sequía en la llanura de inundación son fundamentales para los ciclos biológicos que se desarrollan allí. Los pulsos de inundación pueden ser monomodales o polimodales, predecibles o impredecibles y con amplitudes altas o bajas. Los pulsos predecibles favorecen la adaptación de organismos e incrementan la producción primaria y el uso eficiente de nutrientes. El cambio en los niveles de agua es de suma importancia, pues un aumento en los niveles de agua no sólo incrementa la superficie mojada del canal o de la llanura de inundación, sino que también influencia el intercambio entre el agua subterránea y el agua superficial.

Así mismo, las inundaciones llegan a representar el mayor factor de cambio en la estructura biótica, por tanto es preciso enfatizar que durante la fase seca, las plantas llegan a sufrir estrés que producen el cese del crecimiento (Neiff, 1990). Los vertebrados por su parte se ven limitados tanto en extensión como en calidad y ven amenazados la oferta de hábitat en las planicies inundables durante la fase seca. Durante este período los espejos de agua soportan una densidad mayor de animales y pueden ocurrir desbalances por sobrecarga poblacional, y adicionalmente estos animales se vuelven más vulnerables a sus predadores (Neiff, 1990).





En Colombia se han identificado a escala nacional los atributos del pulso de inundación (IAvH, 2015), donde por un lado indica el funcionamiento de los humedales y del otro, brinda regionalizaciones que sugieren junto a otros componentes, un sistema de clasificación de humedales, así como se ha realizado en Brasil y el mismo piedemonte Amazónico en Colombia (Junk et al., 2014; Ricaurte et al., 2012). Ello fortalece los criterios de toma de decisiones en torno los humedales bajo una visión integral de componentes biofísicos alineados con una visión ecohidrológica.

### 3.1.3 Sistema Socioecológico

De acuerdo con Vilardy & Cortés-Duque (2014), los humedales pueden ser vistos como sistemas socioecológicos (son sistemas complejos), ya que están “conformados por entidades formadas por unidades interdependientes que funcionan como un todo y que presentan propiedades emergentes, que nacen de las interacciones entre sus componentes (Levin, 1998). Para el caso de los humedales, los ecológicos y los sociales se acoplan de manera dinámica”. Bajo esta premisa el componente ecológico incorpora los flujos de materia, energía y organismos, esto incluye las funciones hidrológicas (incluye la hidrodinámica), de otro lado el componente social está relacionado con los habitantes del territorio que hacen uso de los servicios que el ecosistema le brinda, además de las instituciones. Tanto el componente ecológico como el social funcionan de manera dinámica en el espacio y en el tiempo, así como en diferentes escalas.

Para el caso de la gestión del recurso pesquero también se considera adecuado el enfoque de Socioecológico (Santos-Martín et al., 2015), ya que a través de la inclusión de la dinámica ecológica con los flujos relacionados y las pesquerías favorece la conservación de salud de los ecosistemas.

La modelación matemática-computacional en los sistemas Socioecológicos tiene las siguientes potencialidades (Figura 9):



- Reducción de la incertidumbre, debido a que favorece el entendimiento de los procesos
- Permite hacer proyecciones a futuro
- Permite definir un plan de monitoreo
- Permite incorporar componentes que complejizan más el sistema como el cambio climático y la ocupación del territorio.
- Permite determinar las responsabilidades de los actores para establecer los compromisos de mejoramiento.



**Figura 9 El sistema Socioecológico y la modelación**

De otro lado el entendimiento de los sistemas hídricos debe tener una mirada desde los servicios ecosistémicos. Donde la participación de la comunidad científica permite conocer las funciones del ecosistema y por ende puede evaluar o gestionar la salud de los ecosistemas. Reconocidas las funciones, los científicos sociales y economistas proceden a verificar la oferta de bienes y servicios que brinda a la comunidad, y finalmente la gestión

es realizada por los instrumentos de planificación y direccionada por los tomadores de decisiones (Figura 10).

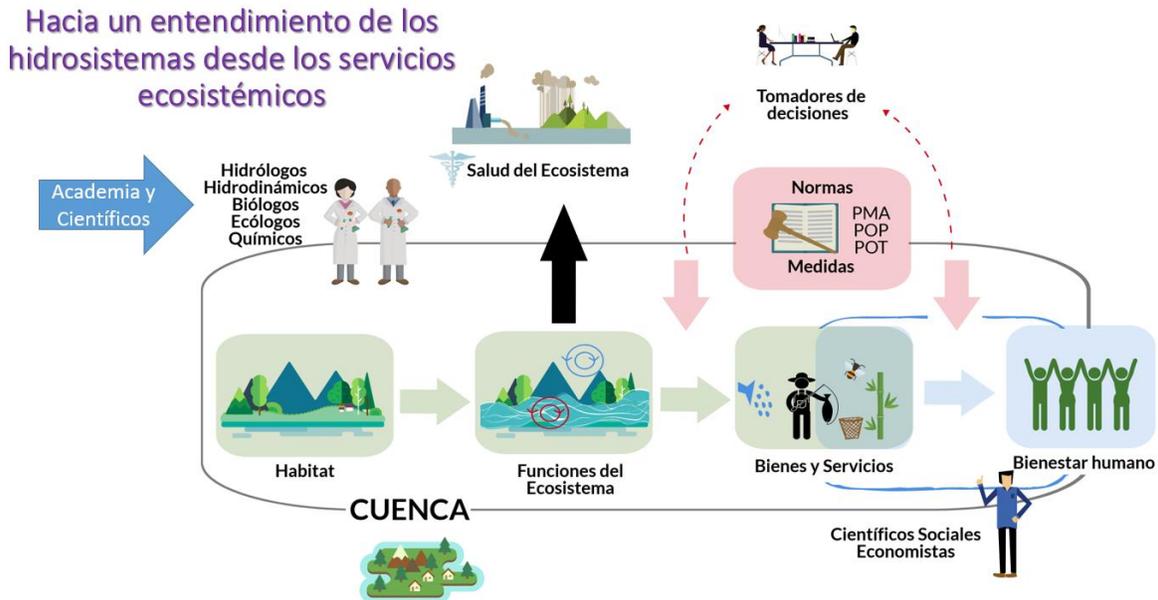


Figura 10 Hacia un entendimiento de los hidrosistemas desde los servicios ecosistémicos

### 3.2 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA- EXPERIENCIA DE MODELAMIENTO EN LA MCMC

Así como se indicó en las estadísticas de la Figura 7 y Figura 8, existe una mayor documentación en estudios sobre toda la MCMC y en seguida se encuentra la ciénaga de Ayapel. Para estos dos casos, existe información de línea base que contribuye al entendimiento de sus dinámicas y los ejercicios de modelamiento bien sea hidrodinámico o hidrológico, se pueden refinar a escalas espaciales y temporales más finas. De igual modo, el modelamiento de redes tróficas, en donde algunos ejercicios se han realizado de manera estática y no dinámica. Del lado de la Ciénaga de Zapatosa no existen los suficientes estudios que indiquen detalladamente la dinámica pesquera, su hidrología ni su

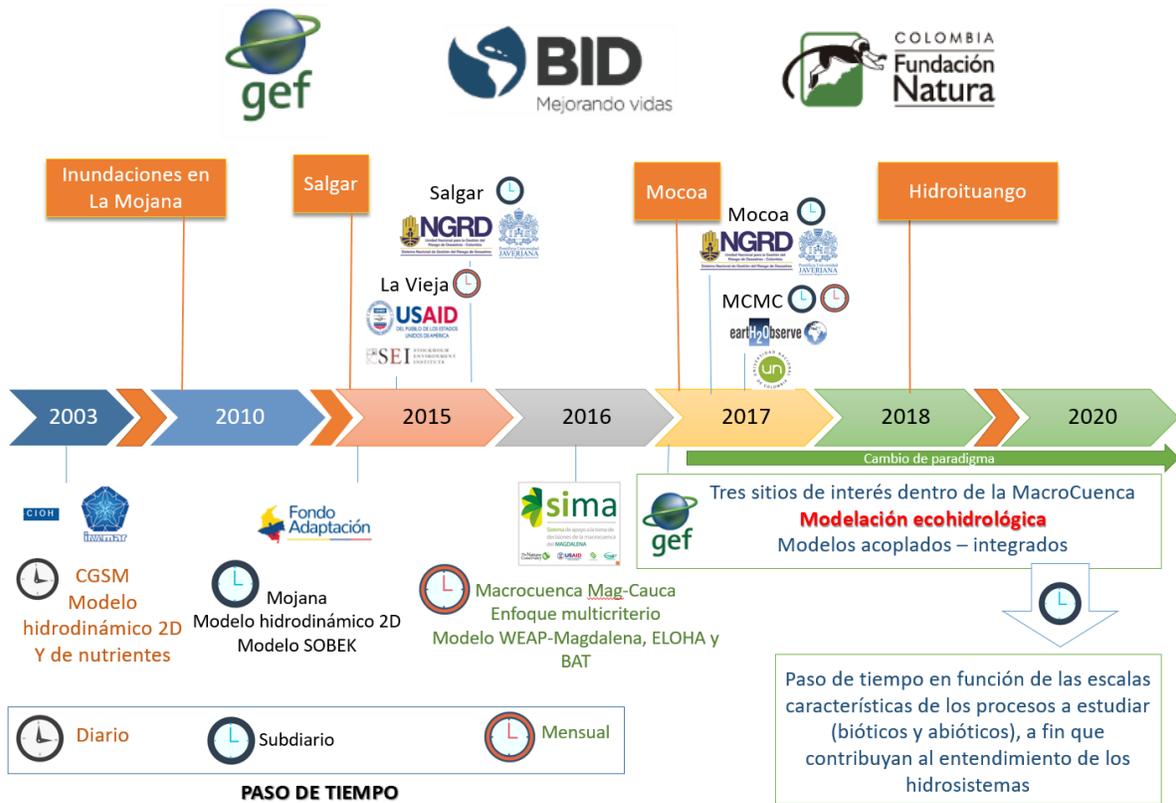


hidrodinámica, lo que amerita que se inicien actividades de monitoreo y modelamiento en este hidrosistema. Para la cuenca del Río La Vieja, la hidrología se tiene a nivel mensual, pero falta la hidrodinámica y la dinámica pesquera.

Se reconoce el trabajo de los documentos consultados, y se destaca el avance en la captura de información de tipo física y biótica como los realizados por la UdeA y los modelamientos hidrológicos realizados por Stockholm Environment Institute (SEI) (2015) en la Cuenca del Río La Vieja y The Nature Conservancy (TNC) (2017) en la MCMC; y otros de hidrodinámica realizados por el equipo de modelación hidrodinámica del Fondo de adaptación (2015) en La Mojana, pero se considera que se debe fortalecer en la integración de monitoreo, modelamiento y acoplar los modelos, es decir, que consideren los componentes bióticos, abióticos y de ser posible los sociales.

Algunos de los ejercicios de modelamiento en Colombia han surgido como una necesidad de tipo urgente después de una emergencia (Ver Figura 11), como es el caso de eventos como la avalancha en Salgar-Antioquia en 2015 y en Mocoa-Putumayo en 2017, donde se han desarrollado modelos de flujo de detritos que han contribuido al diseño de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT). Después de las inundaciones de la Ola invernal 2010-2011 en La Mojana, el Fondo Adaptación (FA) desarrolló el modelo hidrodinámico 2D en SOBEK con insumos de alta calidad como levantamiento topográfico con tecnología LIDAR, batimetrías y aforos con ADCP, lo que generó un Modelo de Elevación Digital (MED) de resolución de 1m. Como en los casos anteriores el SAT diseñado por PNUD (2015-2018) de la mano con IDEAM en los municipios de Ayapel, San Marcos y San Benito en la región de la Mojana, tomó dentro de sus varios insumos la modelación hidrodinámica 2D realizada por el FA. Si bien estos modelamientos han sido exitosos y han cumplido el propósito para el que fueron concebidos, se debe considerar que en los hidrosistemas se debe tener un modelo conceptual en el que se identifiquen las amenazas, de manera que logre direccionar los modelamientos, o tener por lo menos el conocimiento de las dinámicas que operan en estos.





Fuente: Elaboración propia

Figura 11 Línea de tiempo para algunas experiencias de modelación en Colombia

Una de las manera de reducir la incertidumbre es a partir del monitoreo, gracias a las mediciones se conoce más acerca de los procesos y el monitoreo es insumo para el modelamiento en sus etapas de construcción y calibración. De acuerdo con la información consultada se observa que:

- Ciénaga de Ayapel: Gracias al SAT se tiene una mejor cobertura de la información hidrometeorológica en su cuenca, aunque falta el monitoreo en Quebrada Quebradona, Quebrada Escobillas y Caño Muñoz. En cuanto al monitoreo biótico la UdeA tiene una buena información, al igual que la Universidad de Córdoba con las mediciones de metales pesados. Estos monitoreos son por medio de campañas, no de un sistema de monitoreo periódico a través de una red, la información está en las universidades en los equipos de investigación y no puede ser accedida para su uso, sino a través de solicitud directa a los custodios de la misma, pero puede ser utilizada para disminuir la incertidumbre y hacer ajustes a los modelos



- Ciénaga de Zapatosa: Existe monitoreo hidrológico en el sistema en la confluencia con el Magdalena pero se debe fortalecer en la zona norte sobre el río Cesar antes de que entre sus aguas a la Ciénaga. EL monitoreo biótico es escaso.
- La Vieja: Existe un buen monitoreo hidrometeorológico en la cuenca con las estaciones de CRQ (nivel de cuenca), el monitoreo biótico está asociado a las zonas altas de la cuenca donde se encuentran las zonas de protección.

Lo anterior está sujeto a evaluación en el momento de la construcción de los modelos piloto, ya que estos siguieren de acuerdo a la definición del volumen de control o del dominio computacional donde se requiere fortalecer el monitoreo.

Como ya se indicó, el vacío de conocimiento de los documentos consultados radica en la falta de una integración de los componentes bióticos y abióticos. A nivel mundial, en la década de los noventa, se evidenció interés en los métodos para pronosticar los efectos antrópicos y las condiciones ambientales en las poblaciones de organismos (Legendre & Legendre, 2012); para abordar la evaluación de riesgo ecológico de sustancias tóxicas químicas, y para mejorar la modelación de poblaciones y ecosistemas (Pastorok, Bartell, Ferson, & Ginzburg, 2001); y el desarrollo de métodos de modelación de distribución de la abundancia de peces, y la relación de las condiciones ambientales para definir la calidad del hábitat (Boisclair, 2001). En la década del año 2000 emerge el concepto del ensamblaje de la comunidad para entender los patrones ecológicos en humedales y se identifica el interés en la utilización de modelos eco-hidrodinámicos para predecir la calidad de agua ante la variación ambiental en sistemas acuáticos (Elshemy, Khadr, Atta, & Ahmed, 2016; Huckelbridge, Stacey, Glenn, & Dracup, 2010; Lee et al., 2008); recientemente, la aplicación de herramientas numéricas para evaluar la vulnerabilidad de estuarios a la contaminación, ha permitido utilizar la evaluación de la calidad del agua, en la **definición de áreas prioritarias** para recuperación y en el diseño de esquemas de monitoreo para el seguimiento y control del recurso hídrico en el ecosistema (Bárcena, Gómez, García, Álvarez, & Juanes, 2017).





En Colombia, durante los últimos 20 años, también se ha tenido interés en la integración de datos ambientales en los modelos de evaluación de comunidades ecológicas. Se han utilizado modelos basados en estimaciones de biomasa concluyendo que éstos pueden ser herramientas eficaces de evaluación pesquera en estuarios tropicales (Rueda & Defeo, 2001). Respecto al análisis de los procesos hidrológicos, para cuantificar la influencia en el estado ambiental de sistemas humedales, destacan trabajos como: i) la estimación de la capacidad de asimilación de vertimientos de carga orgánica, nutrientes y coliformes totales a la Ciénaga de Mesolandia (Atlántico), a partir de la aplicación de un modelo hidrológico y de calidad del agua (Alean, 2009); ii) la utilización de los paquetes computacionales MODFLOW y MT3DMS, para modelar el comportamiento hidráulico y de calidad del agua de un humedal, permitiendo determinar la variación espacial de cabezas hidráulicas y concentraciones, identificando además que los parámetros más sensibles en el proceso, corresponden a la conductividad hidráulica y las constantes cinéticas de degradación de DBO5, NTK y PT (Saavedra, 2013); y iii) la modelación de diferentes escenarios de operación del embalse del Proyecto Hidroeléctrico del Río Sogamoso y la determinación de su influencia en la dinámica hídrica y en la comunidad de peces de la Ciénaga El Llanito (Barón, 2015).

Se toma como referencia la trayectoria de las iniciativas de monitoreo y modelamiento implementadas en la CGSM, dado que pocos son los estudios que han integrado más de una variable ambiental dentro del sistema estuarino, que también aplica a los complejos cenagosos que se eligieron para la presente consultoría. Se consideran importantes dos estudios de modelación que han intentado aproximarse a la integración de variables que afectan el ecosistema lagunar, pero cuyas herramientas no se encuentran disponibles: los modelos para el diseño de obras hidráulicas (Ordonez & Deeb, 1979), y el modelo para establecer el balance hidrológico en función de la dinámica del complejo lagunar (Munera et al., 2003).

Desde 1999, la necesidad de realizar el seguimiento al efecto de las obras hidráulicas sobre la calidad del agua, la vegetación de manglar y los recursos pesqueros, conllevó a realizar un programa de monitoreo en el marco del proyecto realizado por INVEMAR y financiado





por el Banco Interamericano de Desarrollo y el Ministerio del Medio Ambiente. Los resultados del monitoreo evidenciaron la disminución de la calidad ambiental de la CGSM en los últimos años y concluyeron que el estado de los recursos pesqueros se mantiene con riesgo de sobrexplotación, lo cual hace imperativo la intervención de entidades reguladoras, para aplicar estrategias de manejo basadas en los resultados del seguimiento continuo; así como la necesidad de efectuar medidas de manejo integrado de las cuencas y el recurso hídrico con el ánimo de mejorar la dinámica hídrica del sistema (Invemar, 2016). Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los humedales han ido desapareciendo debido a diversos factores de afectación, los cuales alteran sus características físicas, biológicas y químicas, afectando así la flora y la fauna presente en ellos. Abordar los procesos ecológicos en un sistema como la CGSM o las ciénagas de Ayapel, Zapatosa e incluso la cuenca del río La Vieja requiere definir escalas de trabajo acordes con los niveles de evaluación de las condiciones bióticas y abióticas.

Del análisis de toda la documentación revisada se concluye que se requiere aplicar nuevos enfoques para evaluar la importancia de las condiciones ambientales y la interacción de las especies. Los investigadores pueden incorporar la información de las comunidades de peces en los sistemas de soporte de decisión, para el manejo y gestión de estos hidrosistemas, para lo cual se recomienda que los estudios y el monitoreo sea de tipo ecohidrológico-eco hidrodinámico de manera que se desarrollen de manera integral, utilizando datos químicos e hidrográficos para interpretar los resultados.

### **3.3 LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA MODELACIÓN ECOHIDROLÓGICA**

La presente sección muestra los lineamientos para la modelación ecohidrológica. Aquí se consignan de manera sintética los protocolos y consideraciones a tener en cuenta, así como algunas recomendaciones para su ejecución.





### 3.3.1 Generación de modelos matemáticos-computacionales

- (a) El proyecto general contempla el estudio de las **“dinámicas y tendencias (años 2030, 2040, 2050) de los servicios ecosistémicos de las áreas seleccionadas a partir de la caracterización y modelación ecohidrológica”**. Por consiguiente, se requiere tener una visión de futuro de los servicios ecosistémicos lo cual a su vez establece la necesidad de construir y calibrar herramientas de modelación matemático/computacional.
- (b) Los modelos tendrán en cuenta la cantidad y calidad de los datos (topo batimétricos, aforos líquidos y sólidos, parámetros físico-químicos entre otros), la información y el conocimiento histórico que se haya generado en los hidrosistemas de interés, de tal forma que estas herramientas se orienten a generar variables simuladas "similares" a las registradas y observadas históricamente. Lo anterior sugiere plantear un protocolo de modelación que se describe más adelante.
- (c) La hipótesis fundamental para avanzar hacia la visión de futuro ante diferentes escenarios (o *forcings*) se establece como la invarianza de los parámetros y/o la estacionalidad de algunas constantes paramétricas. Lo anterior quiere decir que una vez calibrados, validados los modelos matemáticos/computacionales a estos se les puede solicitar variables simuladas futuras del comportamiento del sistema a partir de la incorporación de los nuevos escenarios (o forcings) futuros.
- (d) La intención de la construcción de estos artefactos tiene que ver con el apoyo que estos brindan a los procesos de evaluación de impacto ex ante. Es decir, que estos deben ser concebidos en su diseño conceptual para que se puedan establecer relaciones causa-efecto ante posibles amenazas identificadas (naturales o antrópicas) y/o ante posibles intervenciones de tipo antrópico tales como cambios en el uso del suelo, construcción de estructuras de mitigación, construcción de vías, vías, diques o jarillones, entre otros. La idea central aquí es que se puede indagar con los modelos la pregunta de "what if" – “que pasa si...”.
- (e) En la gestión integrada de recursos hídricos se pueden identificar tres generaciones de modelos: (1) Primera generación de Modelos: Son aquellos de base física-biológica-





química con lenguaje matemático que mediante la aplicación de sus respectivos principios y leyes se simulan variables de estado, tendientes a reproducir el comportamiento del sistema (enfoque positivista). Es decir, se plantea un problema inverso a partir de una "distancia" entre lo observado y lo simulado la cual se minimiza (optimización matemática) en un esquema de función mono o multiobjetivo. (2) Segunda generación de modelos: La función objetivo no sólo considera la minimización de la "distancia entre lo observado y lo simulado", sino también una función de utilidad de tipo socio-económica (empleo, educación, ingreso, etc.). (3) Tercera generación de modelos: Los artefactos de simulación dinámica incluyen explícitamente en la estructura matemática de los mismos, leyes o reglas de comportamiento social de las comunidades (ejemplo sistemas multiagentes)(Obregón, 2018).

En este proyecto se procederá con los protocolos de modelación para las herramientas de primera generación. Lo cual seguramente facilitará después avanzar hacia la construcción de otros artefactos tal y como ha sucedido en otros lugares del mundo.

- (f) Por lo anterior se presenta en la siguiente sección el protocolo de modelación de enfoque positivista base físico-biológica y química (primera generación de modelos). Los pasos y descriptores involucrados en este protocolo se contextualizan para los tres hidrosistemas seleccionados para la cuenca Magdalena-Cauca. De igual forma, estos protocolos se encuentran incorporados y resultan coherentes con la metodología propuesta de los cuatro pasos para la implementación de los principios de la ecohidrología en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el desarrollo de soluciones para los hidrosistemas la cual se describió en la sección 1.3 METODOLOGÍA PROPUESTA Y ENFOQUE METODOLÓGICO de este documento y fue el marco de referencia para los productos presentados en el primer entregable.
- (g) La coherencia entre el protocolo de modelación (que se explica en la siguiente sección) y la aproximación metodológica de los cuatro pasos (referida anteriormente) también resulta oportuna y robusta en el sentido que no sólo aplica a hidrosistemas tipo cuenca hidrográfica, sino también a humedales y otros ecosistemas acuícolas, permitiendo así también atender las sugerencias y planteamientos de referentes y expertos en el tema, como lo expone Vilardy et al. (2014) **"el reto actual para la gestión integral de los**





***humedales de Colombia consiste en desarrollar otro tipo de paradigma de gestión para los humedales, que tenga en cuenta la naturaleza compleja de sus dinámicas acopladas a diferentes escalas espaciales y temporales en el territorio, que se base en la necesidad de incorporar la incertidumbre como un elemento clave del sistema, y que sea incluyente y participativo***", y Franco et al. (2010) ***“Las intervenciones propuestas en el paisaje deben sustentarse en el reconocimiento de la incertidumbre en todos sus niveles (procesos, modelos, observación y comportamiento mismo del sistema natural) y contemplar un sistema de monitoreo que permita anticipar la modificación de futuras intervenciones de manejo de acuerdo a la forma como se comporta el sistema y el aprendizaje obtenido”***.

### **3.3.2 Implementar protocolos de modelación de enfoque positivista y base físico-biológico-químico (modelos de primera generación)**

De los lineamientos generales expuestos anteriormente se enfatizó en la articulación de los protocolos de modelación con la aproximación metodológica inspirada en la metodología de los cuatro pasos de soluciones ecohidrológicas. También se resaltaron palabras claves tales como: escalas características, modelación acoplada, fenomenología, e incertidumbre entre otros, los cuales se retoman y amplían en esta sección. Existen varios documentos que proponen y describen un protocolo de modelación con enfoque positivista en las geociencias y las biogeociencias, los cuales resultan similares en su propósito, consideraciones y pasos metodológicos. Para la presente descripción se seguirá el propuesto por Obregón (2008) el cual contempla ocho (8) componentes: (i) Diseño e implementación de un sistema de información base; (ii) Diseño del modelo conceptual; (iii) Desarrollo del modelo matemático; (iv) Desarrollo de aplicativos computacionales; (v) Calibración y Validación de modelos; (vi) Análisis de incertidumbre; (vii) Creación y Simulación de escenarios, y (viii) Síntesis o diseño de las soluciones.





### 3.3.2.1 Implementación de un sistema de información base

Un sistema de información (SI) comprende entre otros componentes: personas, instituciones, protocolos, hardware, software, bases de datos, etc. por lo que incluso puede ser el objeto final en la acción de diseño. No obstante, la implementación del SI base referido en este proceso de modelación comprende aquella información básica que permite avanzar hacia la construcción de un modelo conceptual de manera que contribuya a estudiar el problema planteado como tal. En este sentido comprende la siguiente información: descriptores del problema planteado, información primaria, información secundaria. Esta última se refiere a la existente y que es recolectada a través de estudios anteriores o en sistemas de información de otras fuentes ajenas al proyecto. En cuanto a la información primaria, ésta comprende la que es generada directamente a partir de mediciones nuevas. Para los dos tipos, sobre los datos originales deberán desarrollarse estudios de consistencia y de caracterización de tal forma que la información pueda ser confiable. Las caracterizaciones de la información expresadas son de tipo estadístico. Esto es, análisis lineal y no lineal de procesos, estudios de correlación lineal y no lineal multivariado para campos espaciales, y correlaciones espacio-temporales de escalares indexados en el espacio, entre otros. Como parte de los SI base se incluye también el proceso eventual de diseño e implementación de muestreos y sistemas de medición. A pesar que mucha de la información requiere estos análisis estadísticos, otra información como la capturada a partir de mediciones topobatemétricas o de sensoramiento remoto se deben verificar en campo con los respectivos amarres topográficos a la proyección correspondiente al sitio geográfico de la zona de estudio.

### 3.3.2.2 Diseño del Modelo Conceptual

A partir del SI base se identifican los fenómenos, flujos y almacenamientos que tienen lugar en el sistema y en los subsistemas, así como los que regulan los procesos. De esta forma, se pueden asociar variables y su observabilidad y controlabilidad, escalas dominantes a diferentes niveles de agregación temporal y espacial. También a partir del SI base se debe procurar establecer no sólo la naturaleza lineal y no lineal del sistema y sus señales, sino





también el carácter determinístico o estocástico de los mismos. Se deben inferir también rasgos de estacionariedad o no-estacionariedad, así como de heterogeneidad y anisotropía. Todas estas características permitirán desarrollar el modelo conceptual que servirá para estudiar y aproximar el problema planteado. En este sentido, se deberán responder los siguientes interrogantes, entre otros: (i) ¿Se puede y debe aproximar el problema con bases físicas (modelos de "caja blanca") o prescindiendo de ella (modelos de caja negra), o con modelos mixtos?, (ii) en caso de modelos de "caja blanca", ¿cuáles son las leyes y principios que subyacen al sistema y a los procesos?, (iii) ¿Son leyes de conservación?, (iv) En caso de leyes de conservación, ¿es suficiente con conservación de masa, o se requieren otras igualdades de conservación de momentum (2ª Ley de Newton) y de energía (1ª Ley de la Termodinámica)?, (v) ¿Si se requiere conservación de momentum, ¿cuáles son las fuerzas más relevantes?, (vi) En caso de no requerirse leyes o principios de la física, ¿la aproximación es con modelos guiados por datos, es decir, aproximaciones estadísticas convencionales, o de sistemas inteligentes y "machine learning"?, (vii) ¿La aproximación es con modelos probabilísticos de inferencia, o asociados a procesos o campos aleatorios?, (viii) ¿Cómo tratar la incertidumbre, con lógica difusa, actualizaciones bayesianas, teoría de incertidumbre?, (ix) ¿Cómo se aproximará el estudio de la confiabilidad de los resultados?.

Otras preguntas y consideraciones fundamentales en el contexto de la modelación ecohidrológica resultan ser las siguientes: (1) Condiciones Iniciales, (2) Condiciones de frontera, (3) Dimensionalidad del campo de velocidades (1, 2 o 3D), (4) Direccionalidad (o bidireccionalidad) de las corrientes y conexiones hidráulicas superficiales y subsuperficiales, (5) Acoples entre el modelo hidrodinámico-sedimentológico-calidad de agua (biogeoquímica) y de red trófica (acople en una dirección o diferentes tipos de sincronismo), (6) Resoluciones espaciales para las discretización de los soportes en el tiempo y espaciales (pasos de tiempo de la simulación y tamaños de celdas), (7) Definición del horizonte de simulación ("evento") en términos de duraciones de tiempo para visualizar las causalidades, la fenomenología y las interrelaciones entre escalas (Varios años, un año, meses, días, etc.).





A fin de fortalecer la conceptualización del funcionamiento del hidrosistema a estudiar, se deben realizar varias jornadas de reconocimiento en la zona de estudio, que ocasionalmente estarán acompañadas de actividades de monitoreo para tener una información de referencia para la construcción del modelo conceptual (ej. como puede ser el caso de la determinación de perfiles de temperatura en la vertical en los cuerpos de agua lentos).

En la etapa de la conceptualización, se deben generar las discusiones acerca de las escalas características de los procesos que se desarrollan en el hidrosistema a estudiar, esto es tanto a nivel temporal como espacial. Se debe dejar claridad en la diferencia de la resolución de las medidas con que se monitorea un proceso y las longitudes o tiempos característicos en lo que se llevan a cabo. De igual modo se distinguirán las escalas de los procesos y las especificaciones de la ejecución de los modelos computacionales (pasos de tiempo y discretizaciones espaciales).

### 3.3.2.3 Desarrollo del Modelo Matemático

A partir del desarrollo del modelo conceptual, se procede con el (o los) desarrollo(s) de el (los) modelo(s) matemático(s). En primer lugar, se deberán establecer las expresiones matemáticas, algoritmos y reglas funcionales que incorporen las variables (de entrada y salida) y/o los parámetros que gobiernan el modelo conceptual. Para esto es conveniente establecer los descriptores, si son de tipo aritmético, algebraico, topológicos, o de cálculo (diferencial, tensorial, vectorial, integral). Adicionalmente se debe establecer la necesidad no sólo de trabajar en un espacio transformado (Laplace, Fourier, Wavelets, etc.), sino también de realizar transformaciones de coordenadas (cartesianas, curvilíneas (circulares, cilíndricas, cúbicas), de fuerza, etc.). También son parte del modelo matemático tanto las condiciones de frontera, como las condiciones iniciales, el carácter de las ecuaciones es determinístico o estocástico. En esta etapa también resulta relevante estudiar el carácter de las bases numéricas (binarias, octales, decimales, etc.) y de las soluciones de las ecuaciones. Para el último aspecto, se indicará su naturaleza, es decir, si son de tipo analítico o numérico. Si son numéricas las soluciones, se debe indicar si se requieren





discretizaciones espaciales y temporales (diferencias finitas, elementos finitos, volúmenes finitos).

#### 3.3.2.4 Desarrollo de aplicativos computacionales

Esta etapa ha sido ubicada después de estas tres primeras por considerarse que existe un mayor esfuerzo para el desarrollo de aplicativos computacionales orientados al estudio de los modelos matemáticos. No obstante, los requerimientos de dichos aplicativos quedan establecidos en todas las etapas del proceso de modelación. En cualquier instancia, se deben implantar requerimientos de funcionalidad para los sistemas operativos, procurando identificar en función de sus requerimientos y características particulares. Por la naturaleza del programa, se espera que ellos además del sistema operativo de Windows también sean entrenados y logren funcionalidad en Linux y Unix. Para el caso de los lenguajes de programación es conveniente adaptarse a compiladores de alto desempeño, como el Fortran77 y el C, paralelamente con lenguajes orientados a objetos como el C++ y Visual Basic, según sea el caso que se requiera. Los lenguajes de programación matemática también son deseables para lograr funcionalidad. Entre ellos se tienen, el Python, Matlab, Maple y Mathematica, entre otros. Además de los procesadores de texto convencionales, se procurará adaptarse a los de la familia LATEX y TEX, como procesadores científicos de texto. Para el caso de lenguajes de visualización científica, también se espera que se implementen paquetes computacionales comerciales tales como IDL o PvWave y otros de libre distribución. Los aplicativos computacionales requeridos pueden desarrollarse siguiendo las anteriores recomendaciones, aunque se deberá procurar revisar en el mercado la disponibilidad inmediata de los mismos. Se hace claridad que, dependiendo de lo establecido en el modelo conceptual, en el momento de la elección del software, éste permita modificarse, más aun cuando la aproximación del proyecto es de tipo ecodinámica donde se deben establecer otros componentes hidrológicos, hidrodinámicos y bióticos.

Se prevé también en algunos casos el uso de software especializado como por ejemplo los de sistemas de información geográfica como ArcGIS o de uso libre como QGIS, GRASS,





de igual forma dada la naturaleza de los estudios ecohidrológicos se requerirá para algunos componentes el manejo de software especializado en el análisis de imágenes como ERDAS, IDRISI, ILWIS entre otros; manejadores de bases de datos y paquetes estadísticos, entre otros. En el caso de hacer desarrollo de software, se deberá proceder con la verificación del mismo. Es decir, emplear ejemplos controlados de respuesta conocida que permitan comparar la eficacia del aplicativo.

### 3.3.2.5 Calibración y Validación de los Modelos y aplicativos computacionales

Una vez se disponga de los modelos conceptual y matemático ya afinados, se procederá a calibrar y validar dichos modelos. Todos los modelos dada su abstracción son caracterizados por variables y parámetros. Estos últimos caracterizan y condicionan las salidas de aquellas variables simuladas o de salida del sistema. Por esta razón son los que se deben encontrar y ajustar de tal forma que las respectivas salidas para un conjunto de ellos sean "similares" a los respectivos valores homólogos observados o condicionados a través de un experimento de calibración. Esta similaridad debe estar asociada a la escala de los procesos físicos. Para tener una adecuada calibración se deben considerar mediciones en campo para lograr verificar el desempeño del modelo. En el caso de trabajar con modelos hidrodinámicos, estas mediciones de preferencia se deben realizar de manera simultánea en las condiciones de contorno y en puntos de control establecidas en el modelo. Cuando se habla de simultaneidad se refiere a que en una misma época del año y en un horizonte de tiempo menor a la semana se tomen las mediciones requeridas.

En este contexto, a este problema se le conoce también como el problema inverso, el cual implica una búsqueda de parámetros que puede ser aproximada mediante la formulación de un problema de optimización (búsqueda mínimos o máximos) matemática. En este sentido se deben formular funciones objetivo con sus respectivas restricciones de búsqueda. Esta es una labor fundamental en el proceso de modelado, y prevé herramientas tales como: los métodos de gradiente, los algoritmos de Montecarlo y las metaheurísticas: "simulated annealing", "simplex multidimensional", algoritmos genéticos, colonia de hormigas, etc. La validación del modelo puede ser entendida como el paso siguiente a la





calibración, en donde se dispone de un conjunto posible de parámetros (obtenido del proceso de calibración) y se desea estudiar la influencia de los mismos con mediciones de salida observadas no empleadas en la calibración. También es importante, además de saber formular adecuadamente el problema de optimización, el conocimiento de los indicadores estadísticos de desempeño y los análisis de sensibilidad paramétrica.

### 3.3.2.6 Análisis de Incertidumbre

Este paso del protocolo de modelación tiene que ver con la incertidumbre epistémica (o controlable), la cual comprende los errores en las mediciones y estimaciones, así como en la estructura misma de los diferentes modelos aproximaciones (modelo conceptual referido arriba). También comprende la denominada incertidumbre “aleatoria” que se asocia más a los *forcings* de tipo hidrometeorológico y menos controlables que se derivan de las dinámicas sociales y la ocupación del territorio. La propuesta que se realiza en esta consideración es que la insuficiencia en los datos, no debería impedir la construcción de los diferentes artefactos (modelos), con la alta precaución de realizar un buen análisis de la incertidumbre y validez de los resultados generados por el modelo. Es decir, debe avanzarse en la construcción de estas herramientas, aun si éstas no queden debidamente calibradas, ya que en una segunda iteración / construcción del modelo seguramente este podría guiar el mejoramiento de las campañas de monitoreo y medición.

### 3.3.2.7 Creación y Simulación de Escenarios

La calibración y validación de los modelos se realiza empleando información de las denominadas líneas bases, es decir a partir de las observaciones realizadas y de las características actuales de los sistemas. No obstante, hoy por hoy los ejercicios de modelado se completan para varias posibilidades de ocurrencia, para lo cual deben construirse escenarios tanto para las variables de entrada al sistema, como para las variables y parámetros que gobiernan y caracterizan el modelo (configuraciones físicas, sociales y económicas de las comunidades y el territorio). En dicha creación de escenarios, se debe procurar tener en cuenta, además de la viabilidad física, biológica o química, las





consideraciones de viabilidad energética, ecológica, económica y social. Esta construcción de escenarios puede llevarse a cabo a partir del conocimiento experto (determinístico) de los modeladores o bajo consideraciones altas de incertidumbre apoyados en la generación sintética de señales posibles (realizaciones) de naturaleza estocástica. Una vez se hayan construido los escenarios posibles, para cada uno de ellos se ejecutará el modelo en forma directa para así obtener la respectiva salida correspondiente a dicho escenario. Esta etapa en el proceso de modelado es la que ha permitido mayor flexibilidad a los políticos y tomadores de decisiones en cuanto se da un espectro amplio de posibilidades de comportamiento robusto a los sistemas. En cualquier instancia la creación de escenarios deberá contemplar procesos participativos en todas las etapas y con todos los actores del sistema y del territorio.

### 3.3.2.8 Síntesis o diseño de las soluciones

El objeto final de la ingeniería ecológica (de base ecohidrológicas) es la solución de problemas empleando tecnologías derivadas del conocimiento científico. Los pasos anteriores permiten identificar formalmente el problema, modelar su comportamiento, simular su desenvolvimiento bajo diferentes escenarios y manipulación de sus variables. Finalmente, se implementan estas soluciones empleando un conjunto de herramientas tecnológicas. En esta fase es necesario revalidar o verificar las hipótesis establecidas en las fases anteriores y observar las diferencias, pues de ellas se derivarán las reformulaciones sucesivas de los modelos necesarios para alcanzar la solución del problema.

### 3.3.3 Implementar protocolos de monitoreo de agua

El recurso hídrico a nivel continental, y específicamente el agua dulce es utilizado en actividades importantes para el hombre, principalmente para consumo, así como para la agricultura y la industria. Con el fin de contribuir al manejo de los recursos de agua dulce, el monitoreo es fundamental (Bartram & Ballance, 1996), indicando el estado del agua y unas posibles transiciones en el tiempo debido a diferentes impactos, bien sea naturales o





antrópicos. Adicionalmente, contribuye a la construcción de modelos que puedan dar ideas de las proyecciones a futuro.

El presente apartado muestra los protocolos de monitoreo de agua, se presenta información relacionada con la ejecución del programa de muestreo de agua apta para consumo humano en lo que tiene que ver con el orden del muestreo, la recolección misma de las muestras de agua, los análisis que se hacen en el sitio de toma y la preservación de las muestras para su transporte.

También trata de otros aspectos relacionados con el manejo de las muestras, las precauciones para minimizar su contaminación y el tipo de preservantes, dependiendo de los parámetros a analizar por parte de quienes realizan las actividades de control y la vigilancia.

A continuación, se presenta la información que contiene información sobre la cadena de custodia, identificación y registro de las muestras, el transporte y entrega de las muestras al laboratorio y el aseguramiento de la calidad del muestreo.

### 3.3.3.1 Muestreo:

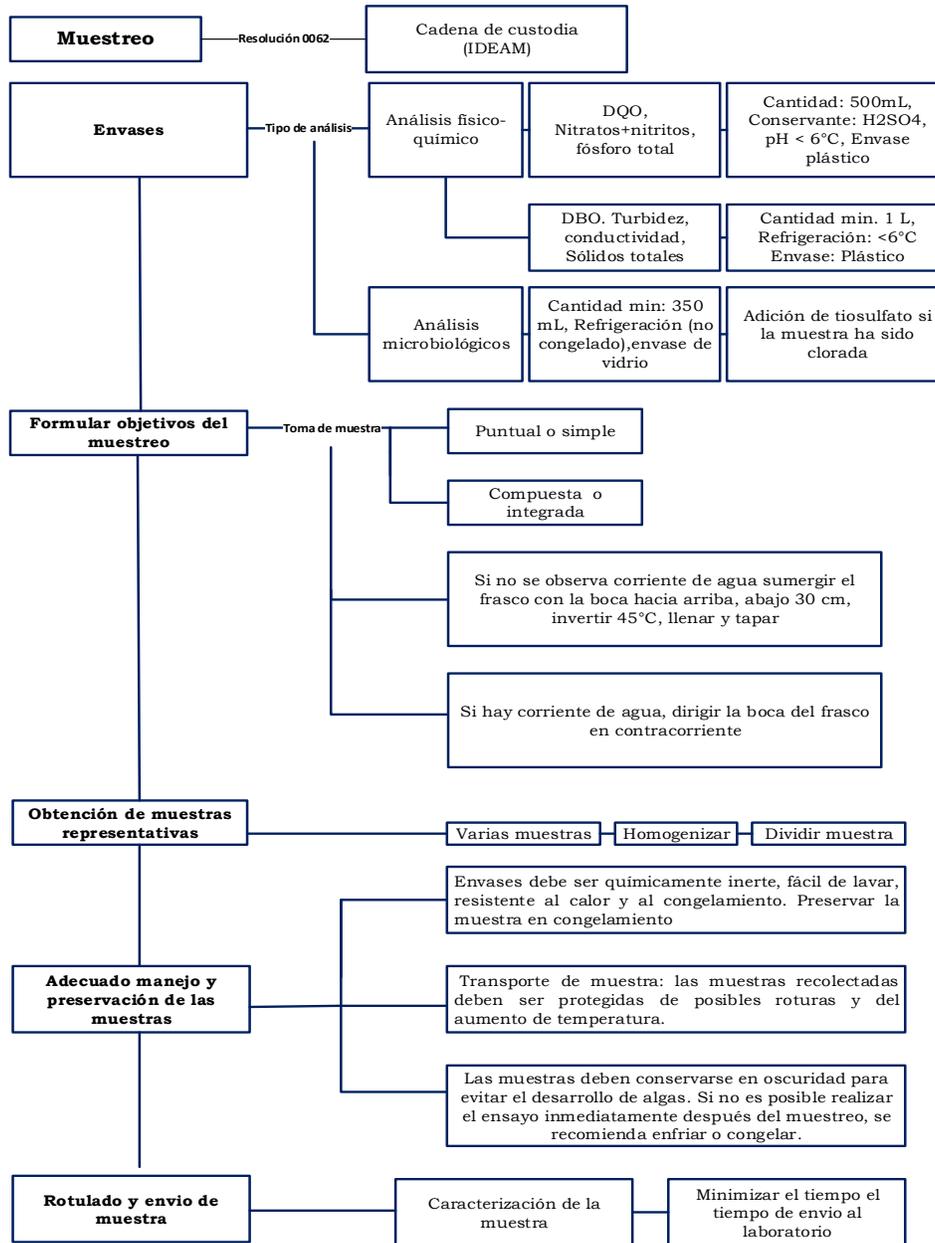
**Envases:** los recipientes utilizados para la toma de muestra deben estar limpios y tener cierre hermético, evitar limpiar los envases con detergentes u otro tipo de sustancia de limpieza; el volumen mínimo para cada tipo de análisis, así como algunas condiciones de conservación y tipo de envase (ver Figura 12).

En cuanto a la **toma de muestra** debe realizarse con el mayor cuidado posible, de tal manera que la muestra sea representativa y homogénea, evitando también alguna contaminación por mala manipulación o por manejo inadecuado de la misma, trayendo como consecuencia la modificación de los resultados.

Para el **muestreo** de aguas superficiales se requiere anotar y llevar carta control, así como también es importante observar alrededor si hay alguna descarga de líquidos de origen



industrial o cloacal y el clima. Para ello se hace necesario rotular e identificar la muestra inmediatamente luego de la toma.



Referencia: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2012

Figura 12 Protocolo de muestreo de calidad de agua



### 3.3.3.2 Parámetros físicos-químicos:

Se necesita realizar análisis físico-químicos del agua en campo y calidad ambiental en el laboratorio de los parámetros básicos, dependiendo de diferentes factores como el crecimiento poblacional, cambio climático (alteraciones en ciclo hidrológico), actividades domésticas e industriales, vertimientos de materia orgánica, sólidos y nutrientes trayendo como consecuencia la eutrofización, uso de fertilizantes y plaguicidas, actividad minera, entre otros, afectando directamente a los cuerpos de agua.

Para calidad ambiental en aguas, se aplican métodos y procedimientos basados principalmente en el **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd-Edition 2012** y otros métodos nacionales e internacionales. Algunos de los parámetros físicos-químicos se muestran en la siguiente figura:

<b>Parámetros Físico-químico</b>	<b>Método</b>	<b>Referencia</b>
pH	Potenciometro	APHA et al., 2012 (N° 4500-H B)
Oxígeno disuelto	Membrana permeable	APHA et al., 2012 (N° 4500-O G)
Sólidos suspendidos totales	Gravimetría	APHA et al., 2012 (N° 2540-D)
Nitratos	Colorimetría	Strickland y Parsons, 1972
Fosfatos	Colorimetría	Strickland y Parsons, 1972
DBO5	Incubación directa a 25°C por 5 días	APHA et al., 2012 (N° 5210 B)

Fuente: Elaboración propia

Figura 13 Parámetros fisicoquímicos a monitorear en agua





### 3.3.4 Indicadores de monitoreo biológico

#### 3.3.4.1 Bioensayos

Debido a la contaminación en aguas de origen químico, los parámetros físicos químicos hacen parte de la evaluación del agua, sin embargo, estos parámetros no evalúan el potencial tóxico del agua tanto para el ambiente como para la salud humana; por ello es importante el uso de la batería de bioensayos el cual corresponde al uso de un representante animal, bacteriano y vegetal.

Teniendo en cuenta lo anterior, los bioensayos se definen como métodos utilizados para evaluar la potencia relativa de un agente tóxico en un organismo vivo, de igual manera, son pruebas realizadas con diferentes organismos representantes de la cadena trófica los cuales permiten prever el efecto negativo en flora, fauna y hombre. Estas pruebas ayudan a evaluar la calidad de los efluentes y de esta forma prevenir o alertar sobre riesgos en el ecosistema (Blaise y Kusui, 1997; Persoone et al., 2003; Manusad- ianas et al., 2003). Los bioensayos se pueden hacer en modelos animal, bacteriano y vegetal como se muestra en la Figura 14.

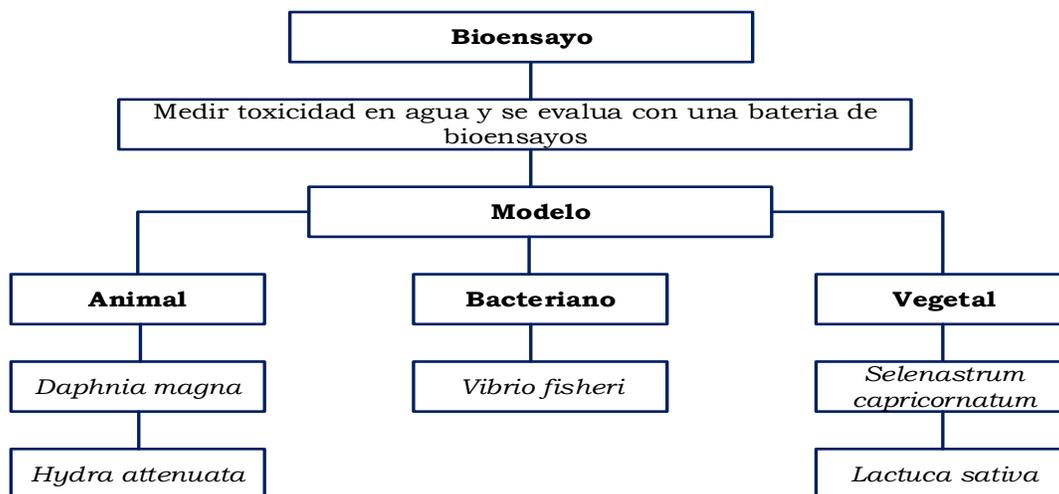


Figura 14 Estructura de los bioensayos



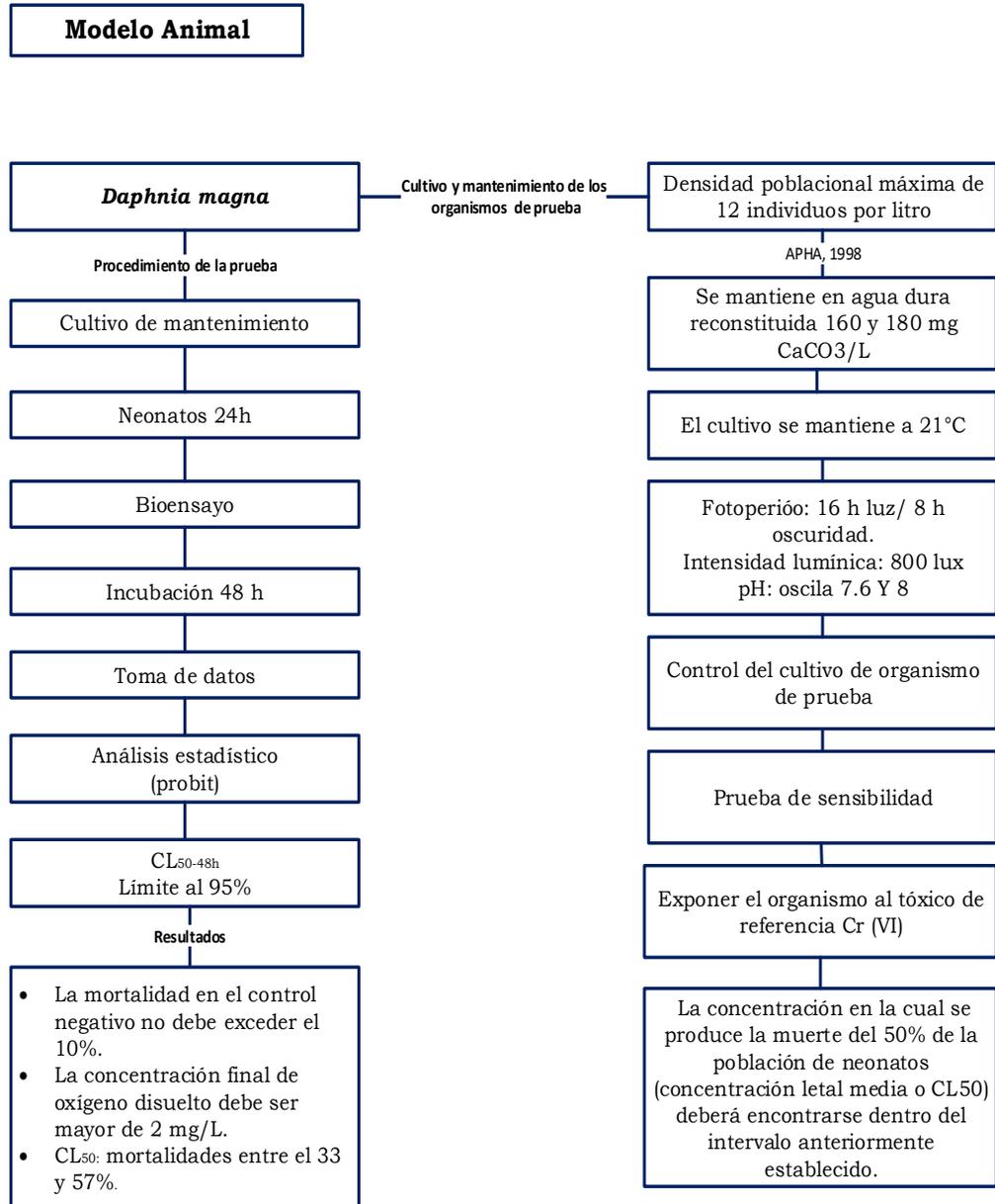


**Modelo Animal:** *Daphnia magna* es un microcrustáceo de agua dulce, estos organismos se utilizan como biomonitores de la presencia de tóxicos orgánicos o inorgánicos en cuerpos de agua naturales, marinos, efluentes industriales entre otros, a través de la medición de efectos letales o subletales letal (estado de tulipán y desintegración) o subletal (tentáculos globosos y cortos) (Figura 15). Por otro lado, *Hydra attenuata* es un microinvertebrado abundante en los estanques y corrientes limpias y frías, se fija sobre las piedras, ramas o la vegetación acuática y posee una serie de tentáculos. De acuerdo a la alteración morfológica que se presente, se calculan las concentraciones efectivas y letales para el tiempo de exposición dado (CE50, CL50) (Reguero, 2017) (Figura 16).

**Modelo bacteriano:** *Vibrio fischeri*, es una bacteria marina, bacilo Gram negativo, bioluminiscente no patógena, anaerobia facultativa, halófila, con dos flagelos en uno de los polos, que vive de forma libre en las aguas marinas o como simbiote en las *estructuras productoras* de luz de algunos peces y calamares entre otros. Esta prueba se basa principalmente en la medición de la luminiscencia emitida por la bacteria *Vibrio fischeri*, la cual se reduce cuando la bacteria se expone, por un periodo de 5 min a 30 min, a muestras que contienen compuestos tóxicos. La luminiscencia tiende a disminuir en relación con la carga tóxica de la muestra problema. (NMX-AA-112-SCFI-2017) (Figura 17).

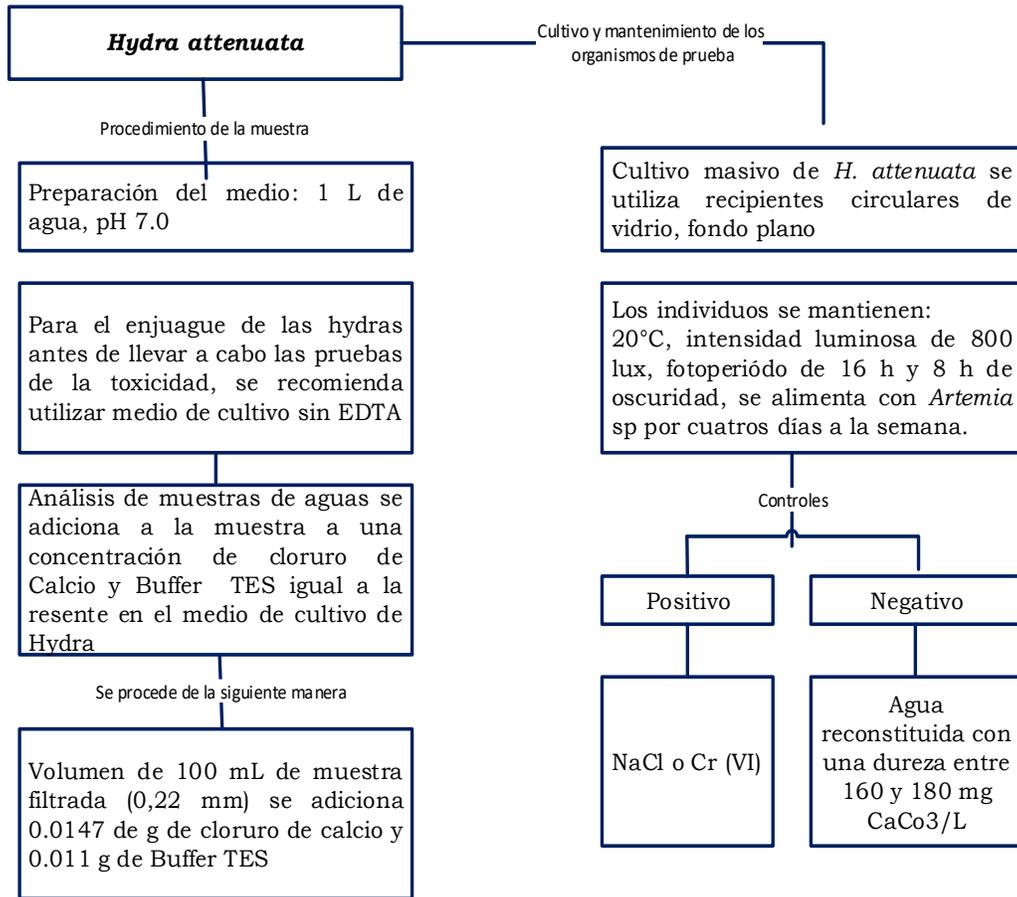
**Modelo vegetal:** El bioensayo con *Lactuca sativa* (Figura 18), se desarrolló de acuerdo a la técnica de McInnis (1989). El bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga es una prueba estática de toxicidad aguda (120 h) en la que se pueden evaluar los efectos fitotóxicos en el desarrollo de la plántula durante los primeros días de crecimiento; adicionalmente se presenta el de *Selenastrum capricornutum* (Figura 19) este ensayo se desarrolló de acuerdo a la técnica de EPA (1994) modificada por Cifuentes et al., (1998). *S. capricornutum* (UTEX 1648); el bioensayo de toxicidad aguda con *S. capricornutum* es una prueba estática (96h de exposición) (Bohórquez et al., 2007).





**Figura 15 Modelo Animal: Daphnia magna**

**Modelo Animal**



**Figura 16 Modelo Animal: Hydra attenuata**

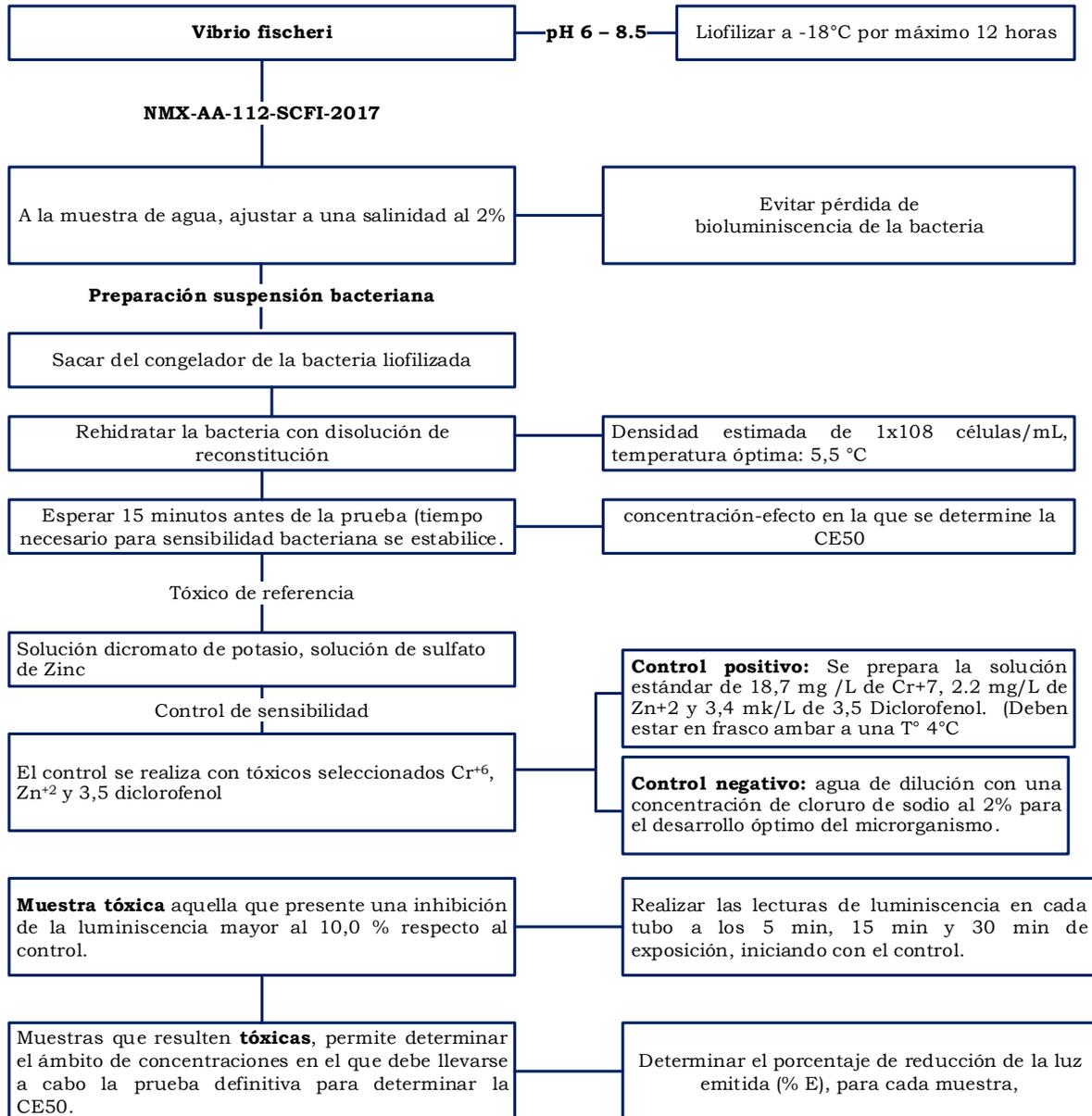
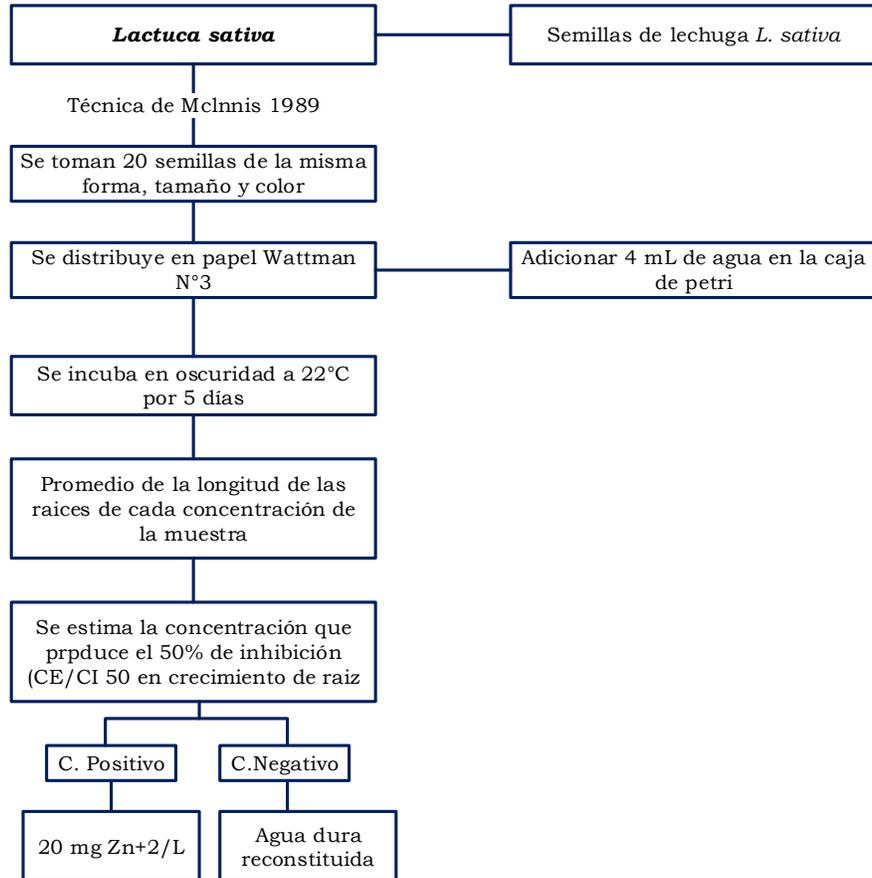


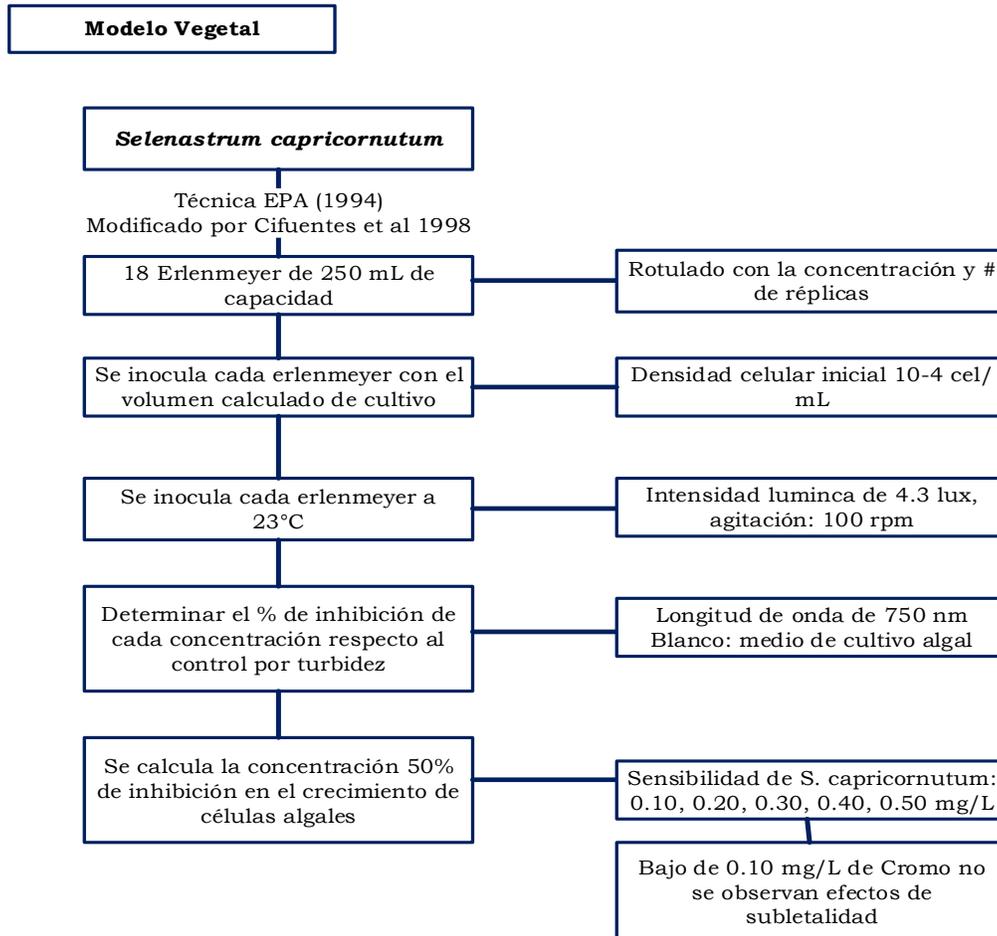
Figura 17 Modelo bacteriano: Vibrio fischeri

**Modelo Vegetal**



CE50/CI50: concentración efectiva o de inhibición media. Concentración del material en agua, suelo o sedimento que se estima afecta al 50% de los organismos de ensayo. La CE50 y sus límites de confianza (95%) son usualmente derivados de análisis estadístico.

**Figura 18 Modelo vegetal: Lactuca sativa**



**Figura 19 Modelo vegetal: *Selenastrum capricornutum***

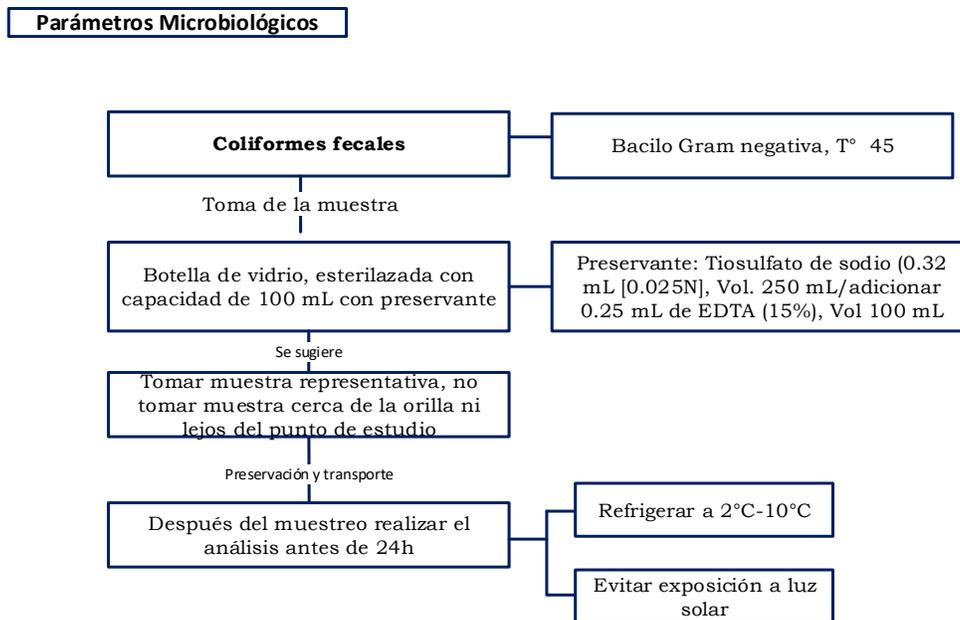
### 3.3.4.2 Parámetros Microbiológicos:

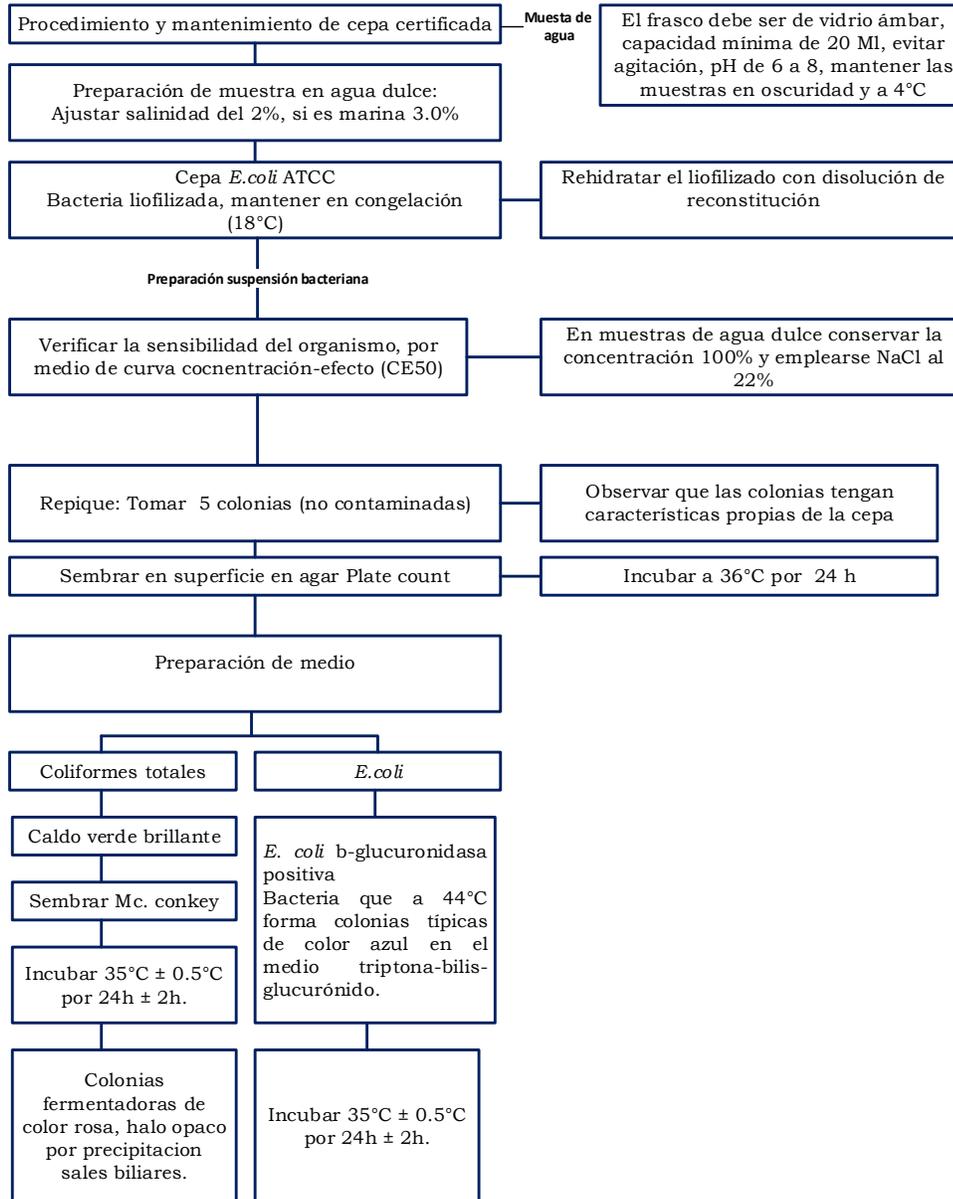
Uno de los microorganismos a evaluar es la presencia de *Escherichia coli* que indica contaminación fecal en agua y se considera como indicador universal, debido a que este microorganismo rara vez se encuentra en agua o suelo; es habitante normal del tracto digestivo de animales de sangre caliente, por ende este microorganismo genera una alerta a cualquier sistema de suministro de agua ya que su presencia por si sola puede generar gastroenteritis y causar la muerte como el caso de la cepa *E. coli* O157:H7 o puede haber probabilidad de la presencia de otros microorganismos altamente patógenos como



Salmonella, Shigella, Klebsiella, Listeria etc. En cuanto a la identificación de Coliformes totales es más difícil ya que estos pueden provenir del suelo y de superficies de agua dulce por lo que no siempre son intestinales. La presencia de Coliformes sugiere fallas en la eficacia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución. La identificación de las cepas aisladas puede a veces dar una indicación sobre el origen.

La filtración por membrana es el mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de la membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro 0.45  $\mu\text{m}$ , esto gracias a que una bomba eléctrica ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre. Los contaminantes de tamaño menor que el específico del poro atraviesan la membrana o se quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego está es llevada a un medio de enriquecimiento selectivo, en el IDEAM se utiliza el medio de cultivo Chromocult el cual promueve el crecimiento y la identificación. A continuación, se presenta un protocolo preliminar de los parámetros microbiológicos (Figura 20 Protocolo análisis microbiológico):





**Nota:**

\* Pueden producirse pérdidas de luminiscencia provocadas por la absorción o la dispersión de la luz en caso de aguas fuertemente coloreadas principalmente en el rango rojo - marrón turbias.

\* Dado que la luminiscencia requiere de oxígeno, cuando las muestras presentan una demanda alta una concentración baja de oxígeno, puede inhibirse la luminiscencia.

**Figura 20 Protocolo análisis microbiológico**



### 3.4 PROTOCOLO DE MODELACIÓN Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE LOS CUATRO PASOS PARA EL CASO DE LA CIÉNAGA DE AYAPEL

Con el marco de análisis dado en la sección 3.3 LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA MODELACIÓN ECOHIDROLÓGICA y a partir del inventario de información reportada en el capítulo 2, se presenta un análisis de información y los avances respectivos hacia la construcción de un marco conceptual y metodológico para el caso de la Ciénaga de Ayapel.

#### 3.4.1 Primer paso: Monitoreo de amenazas

##### 3.4.1.1 Descripción y características de las amenazas

Las siguientes son las amenazas identificadas:

1. Construcción dique marginal sobre la margen izquierda del Río Cauca, y construcción de diques en la planicie de inundación.
2. Uso mercurio en actividades de minería de oro.
3. Uso de suministros con compuestos de metales pesados en actividades productivas.
4. Tasas de sedimentación en canales.
5. Falta de protección de orillas en centros poblados como Cecilia y Seheve
6. Falta de infraestructura para saneamiento básico
7. Ampliación de la frontera agrícola
8. Pérdida de hábitat

Adicionalmente se presentan las amenazas identificadas en el taller realizado en Montería, junto con la coordinadora del Componente 2 (Tabla 12), con la participación de las Corporaciones Autónomas Regionales, la academia y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.





Tabla 10 Amenazas en la Ciénaga de Ayapel identificadas por actores de la zona

<p><b>UNIVERSIDAD CÓRDOBA</b></p>	<p><b>Amenazas acumulativas (Aguas arriba)</b> Arrastre de sedimentos por escurrimientos superficiales causado por la baja cobertura del suelo que permite mayor arrastre de materiales. <u>Efecto:</u> Aumento de sedimentos en efluentes. <u>Impacto:</u> Reducción de servicios ecosistémicos y ambientales.</p> <p><b>Degradación de Hábitats</b> <u>Causa:</u> Vertimientos de residuos (sólidos y líquidos) a los corrientes efluentes y directos a la ciénaga <u>Efecto:</u> Colmatación de cuerpos de agua. <u>Impacto:</u> Pérdidas de especies de fauna y flora e inundaciones.</p> <p><b>Contaminación:</b> <u>Causa:</u> Mala disposición de los residuos peligrosos. <u>Efecto:</u> Contaminación por metales pesados. <u>Impacto:</u> Acumulación de metales pesados en organismos, convirtiéndose en problemas de salud pública.</p> <p><b>Diversidad biológica:</b> <u>Causa:</u> Cambios en el curso de corrientes. <u>Efecto:</u> Alteración de la dinámica poblacional de especies. <u>Impacto:</u> Reducción y la desaparición de niveles.</p> <p><b>Regulación de flujos hídricos:</b> <u>Causa:</u> Construcción de obras hidráulicas.</p> <p><b>Inundación:</b> <u>Causa:</u> Acumulación de sedimentos disminuyendo la capacidad hidráulica de las corrientes. <u>Efecto:</u> Desbordamiento. <u>Impactos:</u> Pérdidas de cultivos, desplazamiento de habitantes, proliferación de enfermedades transmitidas por vectores, mortalidad de animales domésticos y de corral.</p> <p><b>Variabilidad y cambio climático:</b> <u>Causa:</u> Fenómenos ENSO (Niño y niña) por la alta influencia en el área. <u>Efecto:</u> Variabilidad de volúmenes de esorrentía</p>
<p><b>AMENAZAS</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de salud pública.</li> <li>• Pérdida de cobertura</li> <li>• Erosión del suelo</li> <li>• Acidificación de los suelos</li> <li>• Pérdida de hábitat.</li> <li>• PTAR no funciona.</li> </ul>





	<ul style="list-style-type: none"><li>• No hay manejo de vertimientos de aguas residuales.</li><li>• Ampliación de la frontera agrícola.</li><li>• Ganadería</li><li>• Quemas.</li><li>• Contaminación por vertimientos.</li><li>• Deforestación.</li><li>• Minería.</li><li>• Inundación.</li><li>• Fenómeno de la niña.</li><li>• Rompimiento de bocas del San Jorge.</li><li>• Falta de gobernabilidad y ordenamiento.</li><li>• Pérdida de cultivos.</li><li>• Afectación a la población.</li><li>• Introducción de búfalos.</li></ul>
--	--

Algunos rasgos que se desprenden son:

1. Geomorfológicos

- Cambios en la geoforma de la planicie de inundación, 2) Disminución de los servicios de regulación hídrica del sistema cenagoso.

2. Calidad de agua y organismos

- Impactos en la calidad del agua, sedimentos y la biota, 2) Incorporación del mercurio a la cadena trófica.

3. Calidad de agua, suelo y organismos

1) Liberación de sustancias tóxicas por actividad agrícola, 2) Presencia de metales pesados en agua, suelo y biota, 3) Impacto en el nicho de las especies de fauna y flora, recursos genéticos y la retención de carbono, 4) Reducción de los servicios de abastecimiento, debido a que la población local utiliza la pesca como principal fuente alimenticia y medio de subsistencia.

4. Falta de conectividad hídrica, caso del Caño Seheve el cual conecta en forma bidireccional y estacional durante el año al río San Jorge y la Ciénaga. Tal desconexión y su evidente grado de sedimentación afecta las dinámicas bióticas de los peces en especial el bocachico y el bagre rayado.





### 3.4.1.2 Articulación del protocolo de modelación en cuanto al sistema de información base y el monitoreo de las amenazas

Con el fin de verificar el estado de avance de la investigación en Colombia hacia una visión ecohidrológica, se tomó como referencia el estudio de la UdeA “Análisis de la relación río-ciénaga y su efecto sobre la producción pesquera en el sistema cenagoso de Ayapel, Colombia”. Ese estudio tiene perspectivas limnológicas, y se pueden extraer las siguientes conclusiones (UDEA, 2005): "(1) La comunidad de zooplancton que habita la Ciénaga de Ayapel para este periodo de estudio, estuvo dominada en densidad por las formas más pequeñas del zooplancton (Nauplios y rotíferos), su éxito en este cuerpo de agua posiblemente se deba a su hábito alimenticio (Detritos, bacterias y algas) o a que las formas más grandes del zooplancton están siendo depredadas por planctófagos. (2) La comunidad en general mostró una distribución espacial homogénea que puede estar asociada a la mezcla del cuerpo de agua ya sea por el viento o por la influencia de la entrada de los caños al cuerpo de agua por lo tanto desde este punto de vista la hipótesis planteada se rechaza. (3) La variación temporal de la estructura de la comunidad zooplancton durante el periodo de estudio, refleja la enorme influencia que tienen los periodos hídricos sobre los cambios de nivel del agua, especialmente los periodos que corresponden a estiaje por lo tanto desde el punto de vista de la variación temporal de la estructura de la comunidad, la hipótesis plantada se acepta. (4) En la Ciénaga de Ayapel predominan las especies ícticas del orden characiformes tanto en número como en biomasa; seguidos por los órdenes Suluriformes y Gymnotiformes. En ambos casos son numéricamente más importantes las especies de pequeño porte como *Cyphocharax magdalенаe*, *Roeboides dayi*, el género *Astyanax*, *Triportheus magdalенаe*, *Trachelyoptherus insignis* y *Eigenmania virescens*. (5) En la temporada de crecientes los ambientes de aguas abiertas de la ciénaga incrementan tanto la abundancia como la biomasa íctica, mientras que en la época de estiaje los mayores aportes los hacen los caños afluentes. Los valores de diversidad presentan un comportamiento contrario. Lo anterior es consecuente con la mayor disponibilidad de espacio y alimento en el espejo principal durante aguas altas, así como con la menor probabilidad de captura. Los valores de abundancia y biomasa y Captura por unidad de





esfuerzo total en el sistema cenagoso tienen sus picos máximos en la época seca. (6) Las categorías tróficas predominantes en los peces del sistema cenagoso de Ayapel son omnívoros, detritívoros e insectívoros, como estrategia de aprovechamiento del recurso alóctono y el cambio en la oferta trófica causada por los cambios hidrológicos. (7) El sistema cenagoso de Ayapel presenta variaciones ambientales a lo largo del ciclo hidrológico, con estrecha dependencia de la profundidad. Dichas variaciones son eventos más determinantes en los cambios de la estructura de la comunidad íctica que las diferencias espaciales. Factores como los nutrientes y la distribución de las macrófitas a nivel local, explicarían los valores de diversidad en función de la oferta de alimento y protección para los organismos. (8) Los valores de biomasa por debajo de la abundancia, el ajuste al modelo teórico en serie logarítmica y el bajo número de especies predatoras de importancia comercial como *Prochilodus magdalenae*, *Pseudoplatystoma fasciatus*, *Brycon moreii* y *Plagioscion surinamensis*; hacen suponer que la comunidad íctica de la Ciénaga de Ayapel enfrenta factores de perturbación importantes que se ven acentuados durante el periodo de aguas bajas. Dichos factores deben ser identificados y controlados, a fin de garantizar la conservación de las comunidades biológicas que habitan este sistema y la subsistencia de las comunidades de pescadores de la región".

El Fondo Adaptación en el macroproyecto "Plan de reducción del riesgo por inundación en la región de la Mojana" desarrolló varios estudios y modelos dinámicos de amenaza y riesgo por inundación orientados al entendimiento de la hidrodinámica del núcleo de la región de la Mojana (Fondo A. 2013-2016). Esta fue una aproximación bidimensional que permitió estimar valores de las dos velocidades horizontales ortogonales y de la profundidad en celdas de 400x400m de todo el sistema hídrico. Los pasos de tiempo fueron subhorarios y se consideraron eventos de un año para diferentes escenarios posibles de intervención. Varias de las simulaciones consideraron el rompimiento de los diques, así como posibles conexiones y desconexiones con caños. No se construyó un modelo de las dinámicas sedimentológicas dado el propósito del plan. Tampoco existe un modelo ecológico que involucre la interacción entre la hidrodinámica, la hidrología, la calidad del agua y el zooplankton y fitoplancton. Tampoco un modelo de diversidad y dinámica íctica.





No existe un modelo de simulación de hidrodinámica-sedimentológica (ni ecológica) de paso diario para horizontes superiores al año. Es importante contar con estos tipos de modelaciones pues contribuye al conocimiento del sistema como un todo, ya que integra lo biótico y lo abiótico, reconociendo las interacciones entre componentes y la importancia en la productividad del ecosistema. En el marco del proyecto GEF-Magdalena se muestra una gran oportunidad para el país de realizar los primeros ejercicios de modelación con enfoque ecohidrológico-ecohidráulico.

De otro lado existe un modelo hidrológico de paso mensual con propósitos de evaluación de escenarios (incluyendo el cambio climático) para toda la cuenca del Río Magdalena desarrollado por TNC (2017). También otros estudios y proyectos en la Región de la Mojana (2015) que han estado circunscritos a ejercicios de modelación hidrodinámica e hidráulica en el contexto del riesgo por inundación.

A manera de recomendación el estudio con perspectiva limnológica de la Universidad de Antioquia (UDEA, 2005) indica: "Los estudios en el trópico deben orientarse hacia la comprensión y el monitoreo de factores que regulen la biomasa total de la comunidad y la dominancia de los grupos taxonómicos y las asociaciones, así como también debe ser considerado el comportamiento de las poblaciones; pero las interpretaciones de un trabajo tan dispendioso deben ser buscadas a la luz de las bases teóricas modernas como la diversidad del fitoplancton, el gradiente trófico, eficiencia y oferta energética y estrategias morfológico-funcionales. De esta manera, este tipo de exploraciones realizadas en países tropicales con bajos recursos para la investigación como el nuestro, contribuirá relevantemente en la medida que posibilite la inserción de los ambientes tropicales en el mundo de las teorías ecológicas aplicadas al fitoplancton, lo cual incrementaría el carácter predictivo en los estudios y en consecuencia la pertinencia de este tipo de estudios se contextualizaría aún más en el marco ambiental (...).".

La conclusión de la UdeA, nuevamente incorpora la necesidad de un monitoreo de elementos bióticos que den herramientas a las políticas y tomadores de decisiones en el campo ambiental. Es importante aclarar que además de lo expuesto por el estudio, se debe





incorporar el monitoreo simultaneo de variables abióticas con bióticas. Diseñar campañas de monitoreo conjuntas en diferentes temporadas (aguas altas, medias y bajas) y en puntos geográficos de interés para cada una de las partes (hidrodinámicas, bióticas y sociales).

### 3.4.1.3 Síntesis de las amenazas

Desde el punto de vista de la tipología de las amenazas, se pueden identificar las siguientes: (1) Por inundación debido factores naturales (fenómeno de la Niña, por ejemplo) y por factores antrópicos; (2) Suministro de agua y evaluación de la oferta y demanda de consumo ante escenarios futuros de variabilidad y cambio climático; (3) Afectación a la biodiversidad debido a la contaminación de las aguas, del sedimento y a las dinámicas pesqueras, junto con las acciones antrópicos que afectan la calidad del agua y del sedimento y las cadenas tróficas con las que interrelacionan.

### 3.4.1.4 Articulación del protocolo de modelación en cuanto al diseño del modelo conceptual y el monitoreo de las amenazas

- a) Análisis de escalas temporales características: Se procede al identificar las diferentes escalas temporales a las que ocurren los procesos físicos, biológicos, químicos y sociales. Por ejemplo, para la amenaza por inundación sería subhoraria, para la sedimentación diaria/subdiaria y para los problemas de oferta a escala diaria. Los procesos biológicos según la literatura especializada se esperan presenten escalas características diarias.
- b) Análisis de escalas espaciales características: La naturaleza de las ecuaciones diferenciales que gobiernan la fenomenología física, química y biológica sugiere una discretización del dominio espacial para el estudio de la Ciénaga empleando celdas ortogonales o curvilíneas. El modelo hidrodinámico de La Mojana debido al propósito del proyecto empleó celdas de 400 metros. Sin embargo, el acople entre la hidrodinámica, la termodinámica y la sedimentología supone una discretización espacial más fina. Aunque existe este ejercicio previo de modelación hidrodinámica, geomorfología y fisiografía de suelos se deberá proceder a realizar un análisis de





escala desde esta información temática (no realizado a la fecha) que guíe la definición del tamaño de las celdas y refinamiento en zonas de interés, es decir que se debe considerar el uso de mallas estructuradas o no estructuradas. Si existieran mediciones de la temperatura en diferentes lugares de la ciénaga se tendrían otros criterios de afinamiento. Desde el punto de vista biológico, el estudio limnológico de la UDEA (2005) plantea un grado alto de homogeneidad, no necesariamente implica una modelación agregada de toda la ciénaga. Sobre todo, que este estudio no consideró las interrelaciones y las heterogeneidades de los regímenes termohidrosedimentológicos en el dominio espacial de toda la ciénaga. Por lo que el modelo a construir a futuro debe considerar estos procesos y escalas.

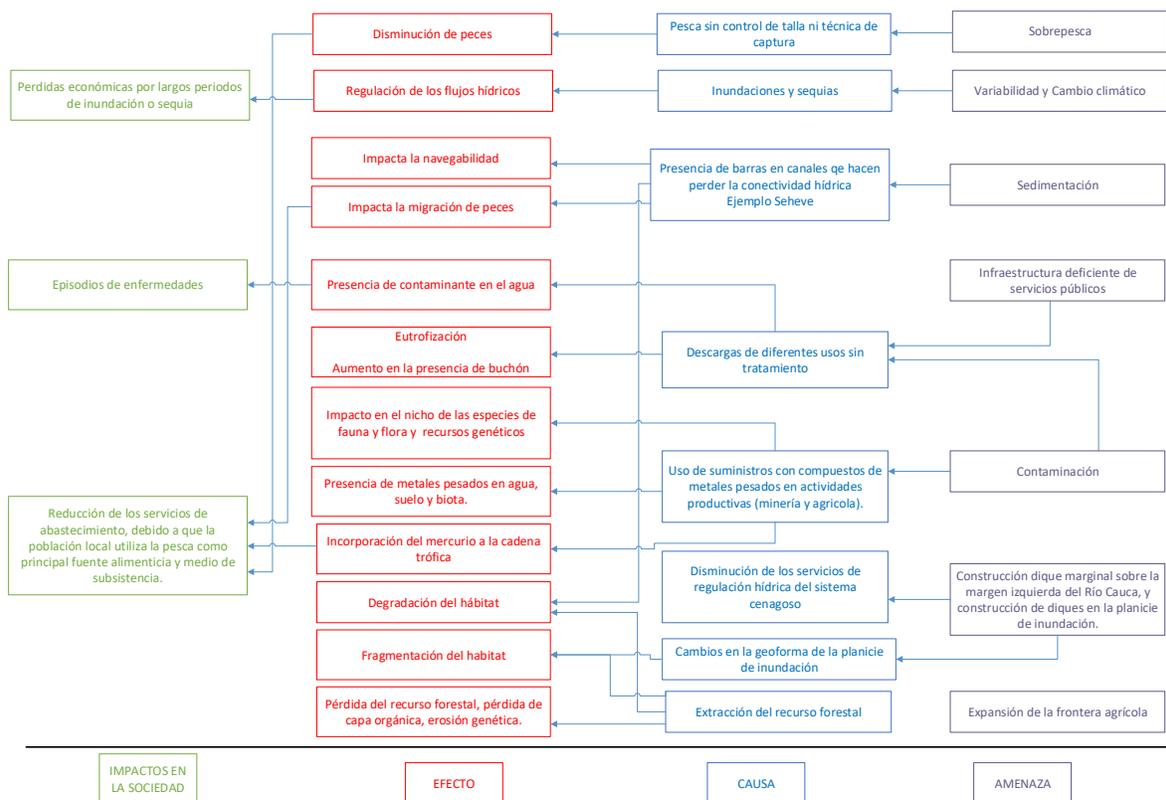
- c) Condiciones de Frontera: Plantea un análisis exhaustivo de la conectividad hidráulica de la ciénaga bajo dos escenarios: con y sin rompimiento de los diques (principalmente del dique marginal del Bajo Cauca). Considerando también la conectividad hidráulica con caños, entre caños y con el Río San Jorge, lo cual también genera preguntas de acople hidrológico-hidráulico debido a la naturaleza de la cuenca de este Río. La bidireccionalidad de algunos caños y las afectaciones a la calidad de las aguas, suelo y biota por actividad minera, genera un problema complejo en relación al dominio a modelar, lo cual condiciona las condiciones de frontera.
- d) Nivel de acople entre las fases, los componentes y los ciclos biogeoquímicos: Existen fenómenos de naturaleza física, biológica y química. Se espera entonces una aproximación termo-hidromecánica-biológica-química para diferentes fases, componentes y multiespecies. Las aproximaciones hidrosedimentológicas e hidrológicas se espera estén acopladas en cuanto a la solución sincrónica. Una primera aproximación de modelación podría acoplar en una dirección. Es decir, una vez se tenga el campo de velocidades y profundidades espacio-temporalmente se proceda a estimar el campo de temperaturas en 3D, para luego pasar al modelo biogeoquímico de calidad de aguas, y después pasar a la solución del modelo ictiológico y de cadenas tróficas. Este nivel de acople deberá revisarse en función



- de la calidad y cantidad de información disponible procurando en todo momento lograr el mayor nivel de acople sincrónico.
- e) Grado de Dimensionalidad en la modelación: Por ahora existe una modelación hidrodinámica bidimensional con alta resolución temporal, pero con baja resolución espacial. Dadas las interrelaciones tróficas del sistema, se esperan gradientes de temperatura en la vertical, lo cual impone consideraciones de la tercera dimensión en el modelo hidrodinámico. Situación que será analizada en detalle desde el análisis adimensional de las ecuaciones diferenciales gobernantes desde la calidad y cantidad de información disponible. Las demandas bénticas y las posibles afectaciones por dragado sugieren tres dimensiones en el modelo sedimentológico y de temperaturas. El modelo trófico podría ser semidistribuido espacialmente, y con algún grado de discretización en la vertical. En cualquier instancia se deberán revisar las integraciones verticales en la vertical y el concepto de "aguas someras" y demás suposiciones de predominancia o no de fuerzas (Coriolis, gradientes térmicos, vientos, flujos barostróficos, etc.).
  - f) Del horizonte de simulación: Dadas las escalas características, los tiempos de retención hidráulica y la conectividad hidráulica e interrelaciones expuestas entre hidrodinámica y diversidad biológica, se esperan simulaciones continuas de varios años, en particular para los horizontes previstos de escenarios futuros.

En la Figura 24 se muestran de manera resumida amenazas con las causas y efectos para la ciénaga de Ayapel.





**Figura 21 Esquema simplificado de los 4 pasos Ciénaga de Ayapel**

El esquema de la Figura 22 resume las principales amenazas del socioecosistema de la Ciénaga de Ayapel, indica lo que se dispone en materia de modelación, y los otros socioecosistema con los que se relaciona a otras escalas:



### Impulsores Amenazas



Infraestructura vial y Diques



Vertimientos y sedimentación



Actividad minera - Hg



Grupos al margen de la ley

### Herramientas



### Modelación

- M. Hidrológica
- M. Hidrodinámica
- M. HidroSedimentos
- M. de Calidad
- M. Hidrogeológica
- M. Redes Tróficas
- M. Ciclos biogeo químicos
- M. Hidrosocial



Figura 22 Esquema de Socioecosistema para la ciénaga de Ayapel

Como ya se indicó, se tienen un gran avance en la modelación hidrodinámica 2D realizada por el FA en la Mojana. Este es un fuerte insumo para el refinamiento de modelos para estudios locales como es el caso de la Ciénaga de Ayapel. La siguiente figura muestra la deferencia entre los alcances de la modelación del FA y la propuesta en la presente consultoría.





### Proyecto Mojana Fondo de Adaptación 2014

- Objeto
  - Desarrollo de Escenarios de Amenaza
  - Evaluación del riesgo a elementos expuestos
- Medio: Modelación hidrodinámica a escala **regional**
  - Malla estructurada 1D y 2D con resolución de 400m
  - No incluye sedimentos
  - No incluye transporte, calidad ni acoples con cadenas tróficas

### Proyecto GEF-BID Magdalena Cauca 2017

- Objeto
  - Protección de hábitats prioritarios
  - Mejora de hábitats dulceacuícolas de importancia para la reproducción de Bocachico y Bagre Rayado
  - Mejora de la salud de los ecosistemas
- Medio: Modelación ecohidrológica-ecohidráulica, **ecohidrodinámica a escala local**
  - Malla no estructurada 2D, estructurada 3D con fina resolución de elementos
  - Incluye sedimentos
  - Incluye transporte, calidad y acoples con cadenas tróficas

Figura 23 Diferencias en los alcances de la modelación del FA (2015) y la propuesta en la presente consultoría

## 3.5 PROTOCOLO DE MODELACIÓN Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE LOS CUATRO PASOS PARA EL CASO DE LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA

### 3.5.1 Primer paso: Monitoreo de amenazas

#### 3.5.1.1 Descripción y características de las amenazas

Las siguientes son las amenazas identificadas:

1. Construcción dique o vías que conectan el canal del río Magdalena con la ciénaga
2. Residuos de actividad minera de carbón desarrollada en la cuenca alta del Cesar
3. Tasas de sedimentación en canales.
4. Falta de infraestructura para saneamiento básico
5. Ampliación de la frontera agrícola y ganadera, hacia los cuerpos de agua.
6. Pérdida de hábitat

Algunos rasgos que se desprenden son:





5. Geomorfológicos

- Cambios en la geoforma de la planicie de inundación, 2) Disminución de los servicios de regulación hídrica del sistema cenagoso.

6. Calidad de agua y organismos

- Impactos en la calidad del agua, sedimentos y la biota, 2) Incorporación de metales pesados a la cadena trófica.

7. Calidad de agua, suelo y organismos

A través de la socialización del proyecto en el taller realizado en Montería, algunos de los actores identificaron las siguientes amenazas (Tabla 11).

**Tabla 11 Amenazas en la Ciénaga de Zapatosa identificadas por actores de la zona**

<b>CORPOCESAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertimientos de aguas servidas de la ciudad</li> <li>• Aumento de la frontera agrícola.</li> <li>• Tala de bosques.</li> <li>• Cambios de uso del suelo.</li> <li>• Diques que atraviesan la Ciénaga, rompen los flujos naturales.</li> <li>• Aporte de sedimentos en las cuencas tributarias (pérdida cobertura).</li> <li>• Pequeñas escalas por actividades humanas desarrolladoras por campesinos, cacería.</li> </ul>
<b>CORPAMAG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertimientos al Río Cesar.</li> <li>• Obstrucción por obras civiles sin requisitos previos (Diques, invasión)</li> <li>• Poliductos dentro del área de la Ciénaga.</li> <li>• Recurso pesquero.</li> <li>• Acumulativos: aguas residuales, deforestación (sedimentación)</li> <li>• Distrito de riesgo.</li> </ul>

3.5.1.2 Articulación del protocolo de modelación en cuanto al sistema de información base y el monitoreo de las amenazas

Dentro de los documentos consultados no se encontraron modelos hidrodinámicos de la ciénaga de Zapatosa, se requiere de manera prioritaria la construcción de artefactos que





contribuyan al conocimiento del socioecosistema, involucrando dinámicas hídricas, bióticas y sociales, más aun cuando una de las principales amenazas de esta zona es la sobrepesca, la deforestación y la presencia de grupos al margen de la ley.

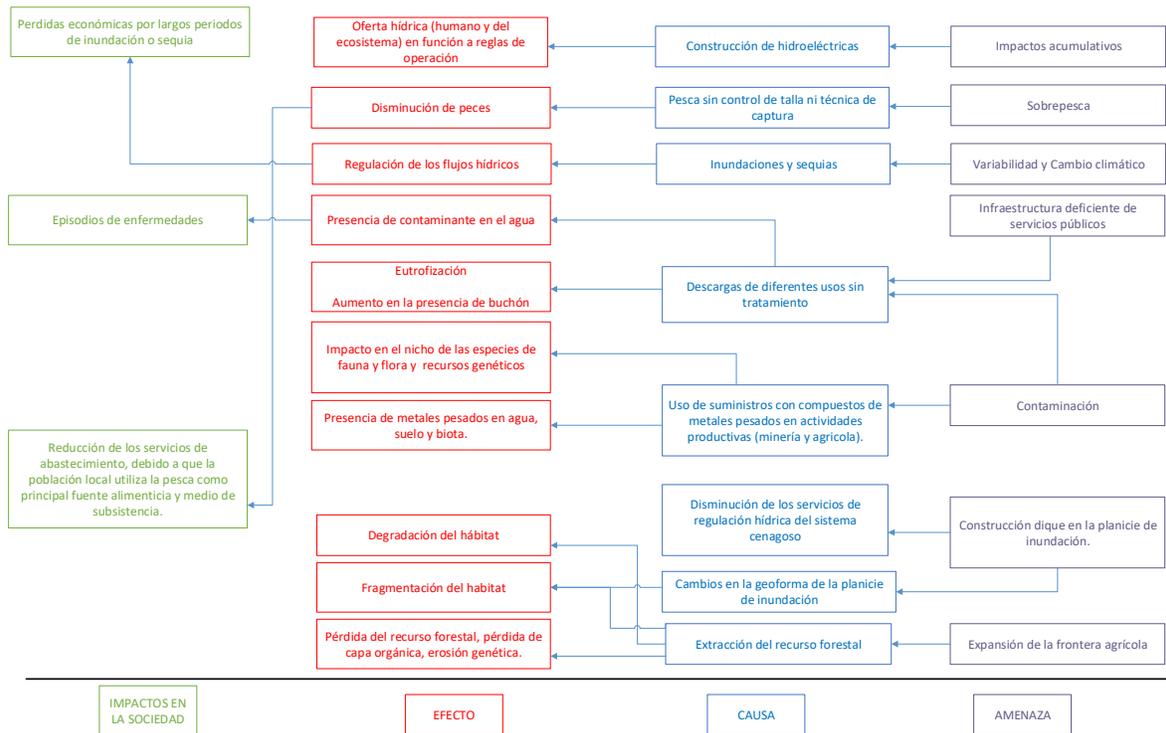
Las tendencias y el estado del régimen hidrológico está consignado en el POMCA, pero se debe refinar en las resoluciones y atendiendo a las escalas de los procesos. Existen vacíos en la información de la biodiversidad acuática, batimetrías, aforos y monitoreo hidrológico en la parte alta de la ciénaga de Zapatosa.

### 3.5.1.3 Síntesis de las amenazas

Desde el punto de vista de la tipología de las amenazas, se pueden identificar las siguientes: (1) Sobrepesca; (2) Suministro de agua y evaluación de la oferta y demanda de consumo ante escenarios futuros de variabilidad y cambio climático; (3) Afectación a la biodiversidad debido a la deforestación, contaminación de las aguas, del sedimento y a las dinámicas pesqueras, junto con las acciones antrópicas que afectan la calidad del agua y del sedimento y las cadenas tróficas con las que interrelacionan.

En la Figura 24 se muestran de manera resumida amenazas con las causas y efectos para la ciénaga de Zapatosa.





**Figura 24 Esquema simplificado de los 4 pasos Ciénaga de Zapatoa**

El esquema de la Figura 25 resume las principales amenazas del socioecosistema de la Ciénaga de Zapatoa, indica lo que se dispone en materia de modelación, y los otros socioecosistema con los que se relaciona a otras escalas:



### Impulsores Amenazas



Infraestructura vial y Diques



Vertimientos y sedimentación



Sobrepesca



Grupos al margen de la ley

### Herramientas



### Modelación

- M. Hidrológica
- M. Hidrodinámica
- M. HidroSedimentos
- M. de Calidad
- M. Hidrogeológica
- M. Redes Tróficas
- M. Ciclos biogeo químicos
- M. Hidrosocial



Figura 25 Esquema socioecosistema ciénaga de Zapatoza

## 3.6 PROTOCOLO DE MODELACIÓN Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE LOS CUATRO PASOS PARA EL CASO DE LA CUENCA DEL RÍO LA VIEJA

En la Figura 26 se muestran de manera resumida amenazas con las causas y efectos para la cuenca del río La Vieja.





### 3.6.1 Primer paso: Monitoreo de amenazas

#### 3.6.1.1 Descripción y características de las amenazas

Las siguientes son las amenazas identificadas:

1. Construcción de viviendas en la periferia y casco urbano
2. Impacto de actividad minera de material de arrastre
3. Falta de infraestructura para saneamiento básico
4. Ampliación de la frontera agrícola
5. Pérdida de hábitat
6. Impacto de curtiembres
7. Actividad minera de oro

Adicionalmente se presentan las amenazas identificadas en el taller realizado en Armenia, junto con la coordinadora del Componente 2, con la presencia de las Corporaciones Autónomas Regionales, la Academia, representantes del Concejo de la cuenca y de los mineros (Tabla 12).

**Tabla 12 Amenazas en la cuenca del río La Vieja identificada por actores de la zona**

<b>CVC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesca artesanal con técnicas agresivas por comunidades indígenas.</li> </ul>
<b>CARDER</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ampliación de suelos suburbanos y de expansión</li> </ul>
<b>UNIVERSIDAD DEL QUINDIO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinámica poblacional en el ámbito rural: cambio uso del suelo a vivienda campestre.</li> <li>• Impactos en el Caudal ecológica Río Quindío</li> <li>• Impacto del bosque comercial</li> <li>• Impacto en el régimen hidrológico local, en la cuenca alta Río Quindío.</li> <li>• Impacto del aprovechamiento material de arrastre, en la zona T-confluencia Río Barragán y Río Quindío: Nacimiento Río La Vieja.</li> </ul>
<b>CRQ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de uso de suelo (expansión frontera agrícola).</li> <li>• Uso inapropiado de suelo (No se tiene en cuenta vocación del suelo).</li> </ul>





	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Urbanismo no planificado del área rural.</li> <li>• Falta de plantas de tratamiento.</li> <li>• Actor: Entidades prestadoras de servicios de Acueducto y Alcantarillado: Empresarios y curtiembres y otros.</li> <li>• Impacto bosque comercial</li> <li>• Proyección de modelos de población, específicamente la dinámica poblacional rural, derivada del turismo y asentamiento de personas de otras partes del país.</li> <li>• Impacto de la acción de sedimentos derivados de la minería de material de arrastre en el río Barragán.</li> </ul>
<b>CARDER – CVC</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en uso del suelo.</li> <li>• Vertimientos agroindustriales y de turismo.</li> <li>• Necesidad de información primaria unificada.</li> <li>• Instrumentación articulada para la cuenca.</li> <li>• Reglamentación de corrientes por índices de escasez altos.</li> </ul>
<b>ASOCIACIÓN MINEROS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apropiación de zonas de ribera por extranjeros.</li> <li>• Turismo.</li> <li>• Rechazo por la CVC al aplicar lineamientos de explotación minera (uso de maquinaria- terraza).</li> <li>• Falta de control de construcción en zonas de ribera del Río.</li> <li>• Mesas de turismo // calidad, cantidad.</li> <li>• Dominio de especies de peces invasoras que dominan sobre los nativos</li> <li>• Dominio de peces sobre los propios.</li> </ul>

Algunos rasgos que se desprenden de las anteriores amenazas son:

- Geomorfológicos
  - 1) Cambios en la geoforma del lecho del sistema hídrico, 2) Variaciones en la producción de sedimentos
- Calidad de agua y organismos
  - 1) Impactos en la calidad del agua, sedimentos y la biota, 2) Incorporación del metales pesados a la cadena trófica.
- Calidad de agua, suelo y organismos





- 1) Liberación de sustancias tóxicas por actividad agrícola, 2) Presencia de metales pesados en agua, suelo y biota, 3) Impacto en el nicho de las especies de fauna y flora, recursos genéticos y la retención de carbono, 4) Algunas zonas presentan eutrofización
- 3) Oferta hídrica
  - 1) Disminución de la oferta dadas las condiciones de sobre demanda, 2) Disminución del caudal ambiental
- 4) Institucional
  - 1) No existe una articulación entre los instrumentos de planificación como los son los POMCA y POT, debido a que se planean zonas de expansión sin considerar la oferta hídrica y garantizar el caudal ambiental en las corrientes. En algunos casos se ven amenazados los manantiales. 2) No existe seguimiento en el licenciamiento de minas, por lo que muchas son artesanales e ilegales.
- 5) Turismo
  - 1) La presencia de turistas en ocasiones impacta en las zonas de protección por el manejo de basuras, movilización en cuatrimotos o caballos.

### 3.6.1.2 Articulación del protocolo de modelación en cuanto al sistema de información base y el monitoreo de las amenazas

Dentro de los documentos consultados no se encontraron modelos hidrodinámicos de algún tramo en particular de la cuenca del río La Vieja en el que se incorporaran dinámicas bióticas, flujo de nutrientes la calidad del agua y el zooplanton y fitoplancton. El modelo hidrológico disponible es de paso mensual y se considera se puede refinar a resolución diaria. Tampoco existe un modelo de diversidad y dinámica íctica.

No existe un modelo de simulación de hidrodinámica-sedimentológica (ni ecológica) de paso diario. Es importante contar con estos tipos de modelaciones pues contribuye al conocimiento del sistema como un todo, ya que integra lo biótico y lo abiótico, reconociendo las interacciones entre componentes y la importancia en la productividad del ecosistema. El modelo hidrodinámico-sedimentología se debe considerar a futuro, pues dada las





características de actividades productivas de extracción de material de arrastre se deben conocer los impactos en la geomorfología de cauce. El modelo disponible a nivel mensual no permite capturar las dinámicas de sedimentos, pero se puede considerar como referente para las tendencias del régimen hidrológico.

Se reconoce que existe información de la biodiversidad de los ecosistemas terrestres pero poco de los ecosistemas acuáticos. Se deben proyectar planes de monitoreo ecohidrológico y fortalecer el conocimiento de los ecosistemas acuáticos, no se tiene la información suficiente de registros icticos o de otros animales como las nutrias.

### 3.6.1.3 Síntesis de las amenazas

Desde el punto de vista de la tipología de las amenazas, se pueden identificar las siguientes: (1) Impacto a las geoformas del cauce; (2) Suministro de agua y evaluación de la oferta y demanda de consumo ante escenarios futuros de variabilidad y cambio climático; (3) Afectación a la biodiversidad debido a la contaminación de las aguas, del sedimento y a las dinámicas pesqueras, junto con las acciones antrópicas que afectan la calidad del agua y del sedimento y las cadenas tróficas con las que interrelacionan. La síntesis de las amenazas se puede ver en la Figura 26.

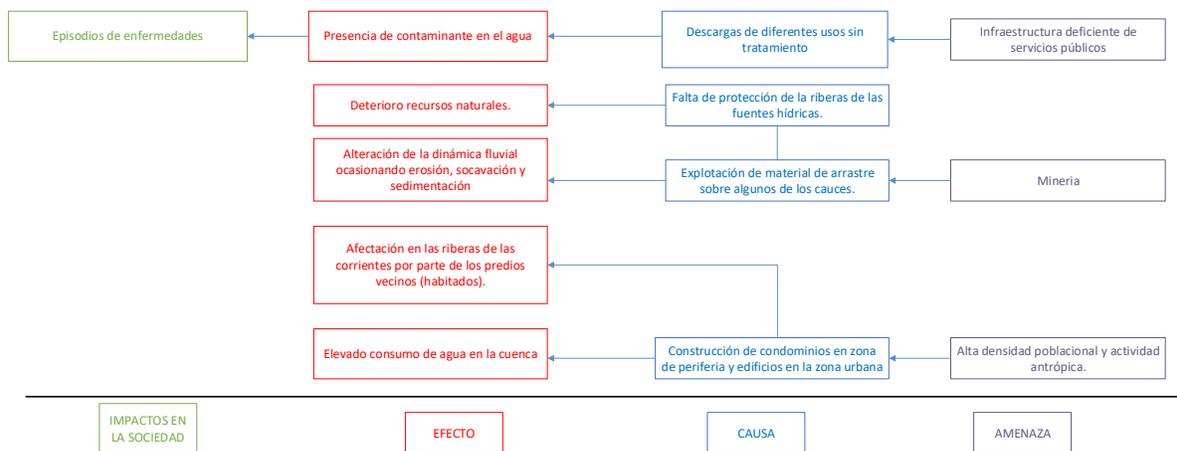


Figura 26 Esquema simplificado de los 4 pasos para la cuenca del río La Vieja



El esquema de la Figura 27 resume las principales amenazas del socioecosistema de la cuenca del río La Vieja, indica lo que se dispone en materia de modelación, y los otros socioecosistema con los que se relaciona a otras escalas:

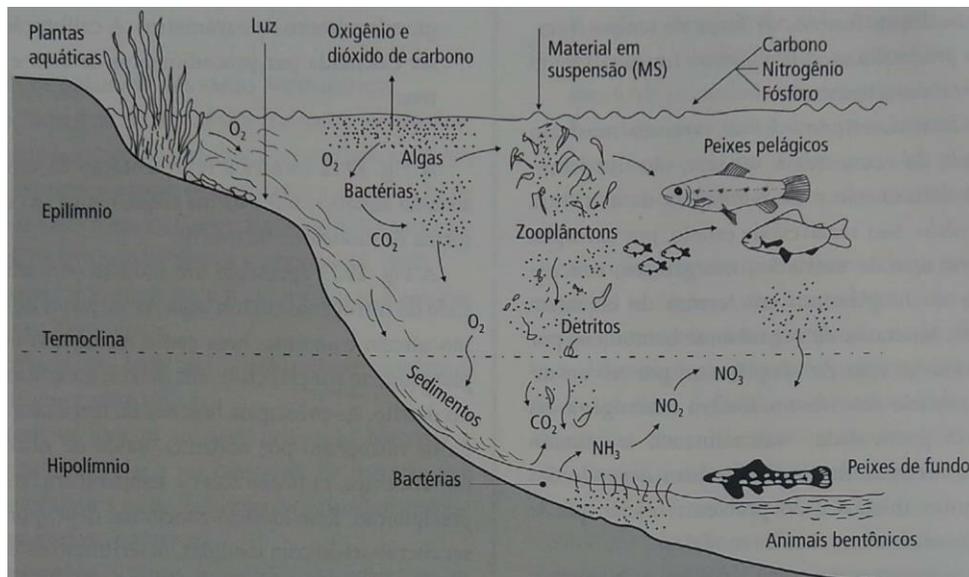


Figura 27 Esquema socioecosistema cuenca del río La Vieja

### 3.7 PROPUESTA DE MODELOS A IMPLEMENTAR

De acuerdo con los objetivos de corte ecohidrológico, se plantea que los modelos a seguir consideren las dinámicas hídricas a partir de modelos hidrodinámicos que incluyan sedimentos, calidad y transporte. De otro lado un elemento clave de la dinámica biótica es el estudio de las redes trófica. En Colombia se han tenido exitosas experiencias en modelación de cada uno de estos componentes por separado, pero el acople de este tipo de modelos se convierte en un reto de modelación.

En el componente hídrico se propone aprovechar los adelantos realizados en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) por Tuchkovenko & Calero (2003), donde se construye un modelo hidrodinámico en 2 dimensiones de aguas someras, en el que se consideran ciclos biogeoquímicos y dinámicas de fitoplancton, bacterioplancton y zooplancton. De acuerdo con las características de la red trófica en ecosistemas acuáticos (Figura 28), modelos como los desarrollados en CGSM consideran las dinámicas de transporte de elementos claves para el ciclo de vida de los peces.



Fuente: Tundisi & Mendiando (2008)

Figura 28 Modelo de flujo de energía en ecosistemas acuáticos



Del lado de las redes tróficas, se propone el uso del modelo ECOPATH (<http://ecopath.org/>), el cual ya se ha implementado en la Ciénaga de Ayapel (Marín, 2012). A pesar de que se propongan estos modelos por su uso en estudios de caso en Colombia, se retoma la idea de que son ejercicios desarticulados. Por ello, dentro de las actividades a desarrollar se plantea el acople de estos.

### 3.7.1 Descripción general del modelo hidrológico de referencia

Dentro de la búsqueda de modelos hidrológicos disponibles se debe considerar que estos tengan la capacidad de incorporar o evaluar funciones del ecosistema (específicamente funciones hídricas) y de ser posible servicios ecosistémicos. Se ha encontrado evidencia de modelación ecohidrológica a fin de evaluar la función hidrológica y su relación con algunos servicios ecosistémicos relacionados, es el caso de los modelos SWAT (Francesconi, Srinivasan, Pérez-Miñana, Willcock, & Quintero, 2016) y RHESys (Garcia, Tague, & Choate, 2016). Los modelos inicialmente se pueden alimentar con la información de referencia a nivel regional, pero al nivel de detalle local es importante disponer de muestreo con mejor resolución temporal, mayor densidad o por lo menos una reingeniería de red que fortalezca la existente. De otro lado también se es deseable que los modelos capturen los flujos de energía en el volumen de control seleccionado.

### 3.7.2 Descripción general del modelo hidrodinámico de referencia

La selección del modelo hidrodinámico debe tener en cuenta que el flujo de agua, sea de manera bidimensional con aproximaciones de las ecuaciones de Navier-Stokes o de Aguas someras. Adicionalmente, en el caso de las ciénagas, el ejercicio de modelación debe reconocer la naturaleza de los flujos de estratificación que allí se presentan (Ecuaciones de Boussinesq). A continuación, se muestra una lista de requerimientos sugeridos:

1. El modelo a implementar, debe tener la capacidad de **acoplar** el modelo de transporte para sustancias disueltas con el modelo de sedimentos (suspensión y fondo).





2. Se recomienda el uso de herramientas computacionales que sean de código abierto para tener el control y conocimiento de las simplificaciones o suposiciones de los modelos. De igual modo esto facilita los siguientes elementos de modelación:
  - a. En la etapa de la calibración se deben considerar los parámetros físicos, los parámetros numéricos y los esquemas de discretización espacial y temporal.
  - b. Inclusión de componentes bióticos.
  - c. Análisis de incertidumbre.

De acuerdo con lo anterior, es deseable que el equipo de trabajo que desarrolle el componente de modelación hidrosedimentológica, tenga experiencia en modificación y desarrollo de herramientas numéricas en 2D o 3D. De otro lado, el alto costo computacional de este tipo de modelo sugiere la capacidad de disponer de tecnologías de alto rendimiento (High Performance Computing (HPC)), aún más cuando las fenologías y la recurrencia de los eventos del pulso de inundación en las ciénagas es de un año. Además, que la cantidad de elementos en las mallas (de preferencia no estructuradas) es alto.

### ***I. Modelo 1***

Siguiendo a Tuchkovenko & Calero (2003), se sugiere tomar como referencia el modelo desarrollado en la Ciénaga Grande de Santa Marta, ya que incorpora elementos físico y bióticos. A continuación, se muestran los componentes del modelo:

#### **Eutrofización y del régimen del oxígeno de las aguas:**

Se describen aspectos químico-biológicos naturales que determinan el balance de las sustancias y de energía en el ecosistema, de los grados trófico y saprobio. Se describen los procesos de producción-degradación de la materia orgánica.





### **Fitoplancton:**

El crecimiento de la biomasa del fitoplancton ocurre como resultado de la fotosíntesis, y la merma se determina por: mortalidad natural, el gasto en la respiración de las células, el consumo por el zooplancton y la sedimentación gravitacional de las células.

La producción de fitoplancton se limita por la luminosidad (transparencia) de las aguas y por el contenido de nutrientes

### **Bacterioplancton:**

Este elemento cierra el ciclo de los nutrientes en el ecosistema. Las bacterias utilizan la materia orgánica muerta. La producción de las bacterias se determina por la disponibilidad de materia orgánica muerta, por las condiciones de temperatura y de oxígeno. La disminución de la biomasa de las bacterias ocurre como resultado de su muerte natural y de su consumo por el zooplancton.

### **Zooplancton:**

La base alimenticia del zooplancton se compone de fitoplancton, materia orgánica muerta y de bacterias. La merma de la biomasa del zooplancton se determina por su respiración y mortandad natural.

### **Materia orgánica muerta:**

La materia orgánica muerta se forma como resultado de la muerte natural del fitoplancton, de las bacterias, del zooplancton, la materia orgánica aloctona llega de los ríos y de las ciénagas contiguas.

### **Fósforo de los fosfatos:**

La variación del contenido de fosfatos de la capa fótica de la ciénaga se determina por la intensidad de su consumo por parte del fitoplancton en el proceso de fotosíntesis y por la regeneración durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica muerta. Se tiene en





cuenta el flujo de los fosfatos de los sedimentos del fondo, el cual se forma como resultado de la descomposición de la materia orgánica que se acumula en ello.

#### **Nitrógeno amoniacal:**

La formación de las reservas de amonio en el medio marino tiene lugar por la mineralización de la materia orgánica muerta con participación de las bacterias, por excreción durante la respiración del fito y el zooplancton, y por el intercambio con los sedimentos del fondo:

#### **Nitrógeno de los nitritos:**

Se supone, que la variabilidad del contenido de nitritos en el agua se determina por la correlación de las velocidades del primero y el segundo estadio de la nitrificación, y por su absorción del fitoplancton en el proceso de fotosíntesis.

#### **Nitrógeno de los nitratos:**

Producto final del proceso de nitrificación del nitrógeno mineral y la forma estable.

En condiciones marinas o estuarinas anaerobias los nitratos se reducen hasta el nitrógeno molecular como el paso al proceso de nitrificación.

#### **Oxígeno disuelto:**

La dinámica del oxígeno disuelto en el medio marino se determina por la intensidad con que ocurren los procesos de la fotosíntesis, intercambio de oxígeno con la atmósfera, consumo de oxígeno por la respiración de bacterias, fito y zooplancton y por la nitrificación. A pesar que los hidrosistemas consideramos NO son en medio marino ni costero, el parámetro de Oxígeno disuelto debe considerarse en las modelaciones, realizando los ajustes adecuados a la condición continental y de agua dulce.





### **Absorción del oxígeno en sedimentos:**

Se estima como una primera aproximación, con ayuda de las expresiones empíricas sobre la base del conocimiento del contenido de oxígeno en el agua  $C_{O_2}$

### **El intercambio del oxígeno con la atmósfera**

#### **II. Modelo 2**

Otro modelo de referencia es el MOHID (<http://www.mohid.com/>) que es un modelo 3D para modelamiento de agua, desarrollado por MARETEC (Centro de Investigación de Tecnología Marina y Ambiental) en el Instituto Superior Técnico (IST) que pertenece a la Universidad de Lisboa en Portugal. El sistema de modelado MOHID permite la adopción de modelado integrado, no solo de procesos (físicos y biogeoquímicos), sino también de diferentes escalas (que permiten el uso de modelos anidados) y sistemas (estuarios y cuencas hidrográficas), debido a la adopción de una filosofía de programación orientada a objetos. MOHID se ha aplicado a diferentes casos de estudio, como zonas costeras y estuarinas, así como a procesos y depósitos oceánicos, y ha demostrado su capacidad para simular características complejas de los flujos.





## 4 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LA MODELACION ECOHIDROLÓGICA DEL COMPONENTE 2 GESTIÓN DE LA SALUD DE LOS ECOSISTEMAS

El presente capítulo comprende la propuesta metodológica para la modelación ecohidrológica - ecohidráulica de los sitios priorizados para el desarrollo del modelamiento en el componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Con el fin de desarrollar la metodología se abordarán los requerimientos del Producto 2 de la presente consultoría: detalle de las actividades (campo, laboratorio y análisis), los requerimientos técnicos, de personal y presupuestales para desarrollar e implementar los modelos seleccionados.

Para la construcción del modelo, se debe partir de la formulación de una serie de preguntas y posibles respuestas. En la Tabla 13 se consigna el desarrollo de las preguntas que se ha planteado la consultoría y en las mesas de trabajo para direccionar el trabajo del modelamiento del componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y la articulación entre componentes.

**Tabla 13 Preguntas y respuestas para la construcción del modelo**

Pregunta	Respuestas	Involucrados	Aporte de ...
¿Qué problemática se quiere estudiar?	Construcción de preguntas conjuntas, principalmente con la comunidad, que darán un direccionamiento al modelamiento, monitoreo y estrategias para la protección de las áreas de interés	Comunidad ejecutor y del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diana Bocarejo</li> <li>Omar Vargas</li> </ul>
¿Cuáles son los procesos físicos, bióticos y dinámicas sociales que deberían incluirse en el ejercicio de una modelación ecohidrológica? Basados en la respuesta de la primera pregunta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lluvia-Escorrentia</li> <li>Tránsito en la ciénaga</li> <li>Interacción suelo-vegetación-atmosfera</li> </ul>	Comunidad ejecutor y del proyecto	Consultoría





Pregunta	Respuestas	Involucrados	Aporte de ...
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación en ciénagas</li> <li>Sedimentación y erosión</li> <li>Trasporte de contaminantes</li> <li>Mezcla</li> </ul>		
¿Cuáles son las escalas características de dichos procesos y dinámicas?	<p>Espaciales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Espejo de agua</li> <li>Cuenca</li> <li>Macrocuena</li> </ul> <p>Temporales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anual</li> <li>Semestral</li> <li>Mensual</li> <li>Diaria</li> <li>Subdiaria</li> </ul>	Comunidad, ejecutor del proyecto, academia, instituciones	Consultoría
¿Cuáles son las resoluciones de la información asociada a 1 y 2?	<p>Espaciales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Espejo de agua</li> <li>Cuenca</li> <li>Macrocuena</li> </ul> <p>Temporales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Anual</li> <li>Semestral</li> <li>Mensual</li> <li>Diaria</li> <li>Subdiaria</li> </ul>	Comunidad, ejecutor del proyecto, academia, instituciones	Consultoría
A fin de obtener información de los procesos y las relaciones entre el sistema hídrico, biótico y social. ¿Cómo debería ser el monitoreo en términos de periodicidad y sincronía entre sistemas?	<p>En cuatro tiempos dentro del pulso de inundación: Asenso, máximo, descenso y mínimo.</p> <p>En la medida de lo posible de manera simultánea entre componente biótico, físico y social.</p> <p>El monitoreo debe tener una cuota participativa de parte de la comunidad.</p>	Comunidad, ejecutor del proyecto, academia, instituciones	Consultoría
En el ejercicio de construir el modelo, i) ¿cuál considera debe ser el paso de tiempo en el que se evalúan los cambios del sistema, ii) ¿cuáles deben ser las consideraciones del dominio espacial de trabajo?	<p>En el caso de los modelos hidrodinámicos, el paso de tiempo debe capturar la física de los procesos y garantizar estabilidad numérica.</p> <p>Preferiblemente diario o subdiario</p> <p>El dominio estará en función del espacio geográfico donde se desarrollan la mayor parte</p>	Comunidad, ejecutor del proyecto, academia, instituciones	Consultoría





Pregunta	Respuestas	Involucrados	Aporte de ...
	de los procesos en la mayor parte del tiempo.		
¿Cómo se puede encaminar el monitoreo y el modelamiento para la construcción de índices de Salud del ecosistema?	Basados en la disponibilidad de SE		Consultoría

En el desarrollo de todo el proyecto GEF-Magdalena se evidencia la importancia de la integración entre cada uno de los componentes. La Figura 29 indica cómo se retroalimentan los tres componentes a fin de cumplir los objetivos del proyecto.

### ARTICULACIÓN DE COMPONENTES DEL PROYECTO



**Figura 29** Articulación entre componentes del proyecto GEF-Magdalena

En la ejecución del modelamiento para el componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se plantean cinco etapas: 1) Preliminares, 2) FASE 1 Modelos piloto y primeros resultados, 3) FASE 2 Monitoreo y posproceso, 4) FASE 3 Refinamiento de modelos, 5) FASE 4 Lineamientos de uso, manejo y conservación para la planificación ambiental territorial, y 6) FASE 5 Análisis integral y resultados (Ver Figura 30). De acuerdo con estas fases se describirán a continuación las actividades que traen consigo, además se plantea en la Tabla 15 el cronograma general





estimado para su ejecución, y por último se plantean los posibles escenarios presupuestales para su cumplimiento.

#### 4.1 ETAPAS DE DESARROLLO DE LA MODELACIÓN ECOHIDROLOGICA DEL COMPONENTE 2

Como ya se indicó se han establecido 5 etapas para el desarrollo del modelamiento para el componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). A continuación se describen las actividades de cada fase y se advierte que hace parte de un esquema general para el abordaje de la modelación, pero esta será ajustada para cada uno de los sitios de acuerdo a la información existente.



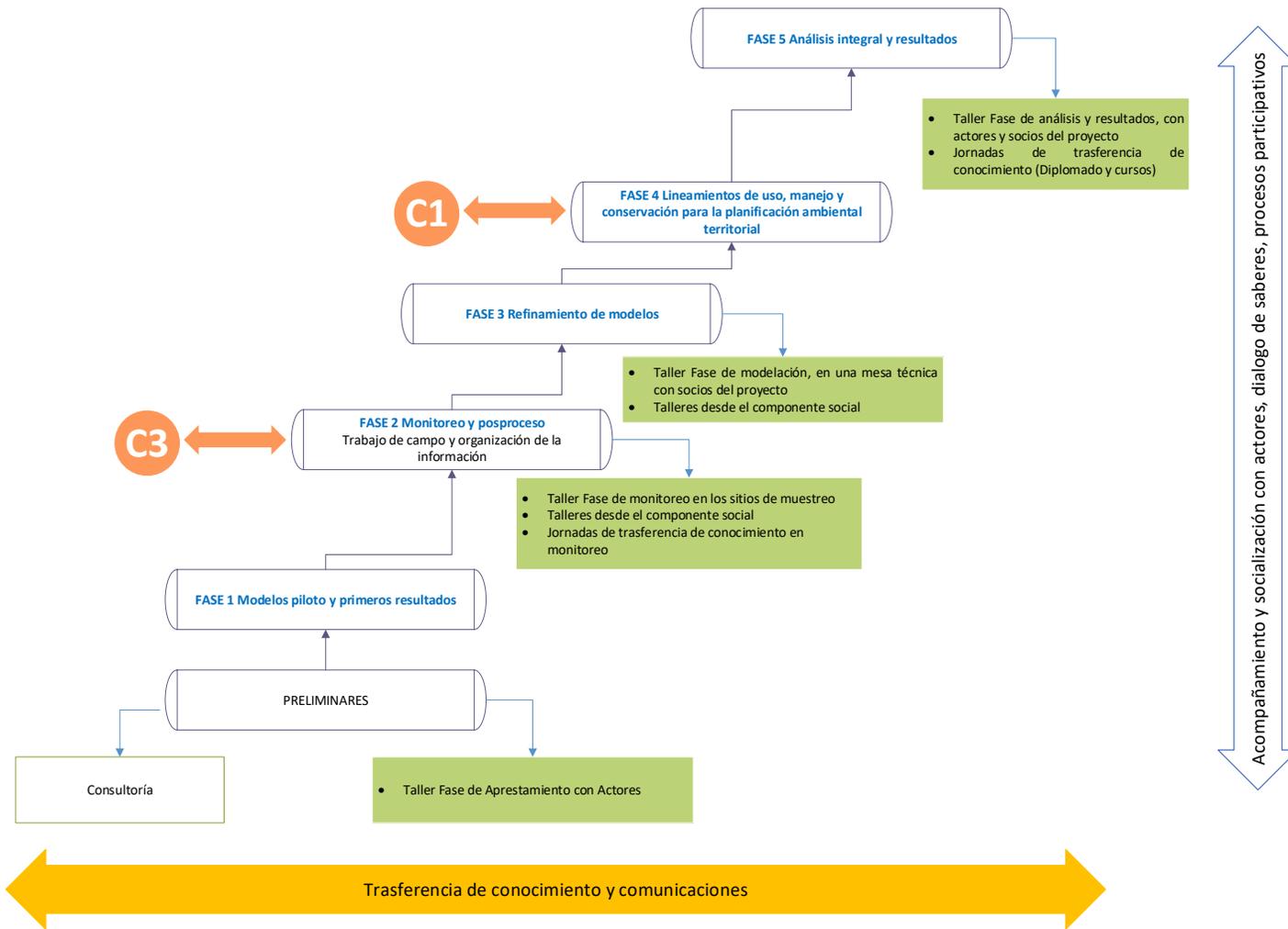


Figura 30 Planteamiento de fases para el desarrollo del modelamiento del componente 2 del proyecto.





#### 4.1.1 Preliminares

En la etapa de preliminares se encuentra el trabajo realizado por la presente consultoría, junto con las visitas de reconocimiento a los sitios seleccionados, las visitas a las CAR's, academia u otros interesados, en conjunto con la Coordinación del proyecto y la Supervisión de parte de la Ingeniera Beatriz Hernández. Al igual que los talleres de socialización como los realizados en Montería, Armenia y con IDEAM.

Posterior a la entrega del presente documento, en esta etapa se realizará la selección de profesionales, el proceso de contratación y conformación de equipos. Una vez terminadas las actividades se procederá a la apropiación de la información existente y recopilación de la información secundaria faltante. Si bien la presente consultoría hace entrega de material facilitado por las instituciones consultadas como CAR's y la academia, se sugiere verificar si existe nueva información o actualización de la misma y complementar con lo identificado que no se obtuvo durante esta consultoría.

Por otra parte también es importante verificar e identificar los actores que intervienen en cada cuerpo de agua de interés y buscar como contactarlos y hacerlo. También hay que definir el plan de acción y cronograma del desarrollo de las consultorías de los modelamientos, para tener información para compartir con los diversos actores.

#### 4.1.2 Fase 1 Modelos piloto y primeros resultados

Esta fase permite consolidar de parte del ejecutor de los modelamientos del componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) el modelo conceptual del hidrosistema a estudiar. Esto a partir de la información existente y el trabajo conjunto con la comunidad. Se resalta el trabajo realizado por las CAR's, Academia y otras iniciativas institucionales como FA, Cormagdalena, TNC, PNUD entre otras; donde sus aportes son claramente valores agregados para iniciar desde un estado de conocimiento base que facilita direccionar el ejercicio de modelamiento, monitoreo, transferencia de conocimiento y planteamiento de lineamiento de planificación ambiental. Se considera entonces que la Fase de Modelos piloto es el pilar del desarrollo metodológico,





pues brinda al equipo de profesionales fortalecimiento de su razonamiento científico específico al objeto de estudio, entendiendo así los procesos, dinámicas, relaciones entre componentes y las escalas en las que se desarrollan e interactúan, permite inferir las principales fuentes de incertidumbre, valorar los modelos a emplear y sus protocolos. Además, que es la fase en la que se hace el primer acercamiento con la comunidad para así llevar de la mano el proceso.

A continuación se describen las actividades propuestas:

- 1) Construir de manera conjunta una aproximación a un modelo conceptual del funcionamiento del hidrosistema, identificando los tensionantes y limitantes, características físicas del hábitat de las especies seleccionadas: el bagre rayado y el bocachico, destacando las potenciales relaciones de intra e interespecíficas entre los componentes del sistema natural
- 2) Revisar información secundaria existente sobre identificación y valoración de servicios ecosistémicos, y aquellos con características de ecosistemas similares a la zona de estudio.
- 3) Realizar análisis de la información existente sobre la riqueza, diversidad, estructura poblacional, área de movilidad, características de hábitat de los diferentes grupos de biodiversidad para la zona de estudio.

De igual modo se debe conciliar acerca del funcionamiento o desarrollo de las siguientes temáticas:

- Entendimiento de la hidrogeología de la zona de estudio.
- Plantear hipótesis de la interacción Agua superficial-Agua Subterránea de la zona de estudio.
- Dinámica de sedimentos
- Biodiversidad
- Relaciones de la sociedad con el hidrosistema desde los servicios ecosistémicos
- Modelos conceptuales de comprensión de la Red trófica de las especies de interés.





- Patrones de viento y temperatura

Adicionalmente, para construir la base conceptual del modelo se sugiere apoyarse en la siguiente información:

- Mapas de ecosistemas
- Mapas de ecosistemas acuáticos
- Mapa de identificación de humedales
- Mapa de hidrogeología de la zona
- Mapa de cobertura
- Mapa de suelos
- Cartográfica base IGAC
- Mapas de geomorfología o geomorfología fluvial

Tema a concluir:

- Análisis del abordaje para las diversidad de escalas espaciales y temporales en las que operan los procesos naturales y antrópicos que se desarrollan en el hidrosistema
  - Verificación de la existencia de la estructura poblacional de algún grupo funcional del ecosistema.
- 4) Inventario y análisis de imágenes de sensores remotos para el estudio de:
- Humedad de suelo
  - Geomorfología
  - Expansión - contracción (ciénagas)
  - Cobertura y uso del suelo
- 5) El componente social continúa avanzando en sus actividades de acercamiento con la comunidad, de manera que para la fase 2 de monitoreo (donde se desarrolle) se tenga la participación de la comunidad y se plantee el monitoreo participativo. Además de conocer sus modos de vida y su relación con el ecosistema. De preferencia este componente tendrá una presencia constante en la región de





manera que se generen lazos de confianza entre los profesionales del proyecto y la comunidad, facilitando así el ejercicio de entender su relación con el hidrosistema y obtener el apoyo de los mismos en actividades del proyecto. El equipo del componente social deber definir las actividades en el desarrollo del proyecto, de manera general deberá realizar:

- Diagnostico general y definición de las zonas a intervenir
  - Primer taller en los sitios de monitoreo para darle a conocer a la comunidad lo que se va a medir, con que se va a medir, para que medir y la importancia de la medición en su territorio.
  - Elección de grupo de trabajo representativo para trabajo detallado con ellos (pueden ser los que van a hacer el monitoreo participativo), esta actividad tiene asociada una jornada de capacitación.
  - Después de hacer los monitoreos, hacer el taller de socialización de resultados alcanzados y obtener la retroalimentación de estos.
  - Articulación con el equipo técnico
  - Divulgación de resultados.
- 6) Diseño desde el componente social de una metodología de diálogo de saberes entre la comunidad, academia, empresarios, instituciones y aliados del proyecto GEF-Magdalena, con el fin de fortalecer de gobernanza del agua y mejoramiento del ecosistema acuático.
- 7) Diseño de un modelo de monitoreo participativo para socializar en el taller de la fase dos y en la estrategia de transferencia de conocimiento de la fase dos. Se sugiere tomar como referencia el desarrollado en el proyecto Piragua <http://www.piraguacorantioquia.com.co/piragua/>
- 8) Planteamiento de la arquitectura de datos de almacenamiento de la información del proyecto. La información es de tipo documental, audiovisual, bibliográfica, geográfica y administrativa. Se advierte que en el marco del proyecto se debe





- fortalecer el SIAC, por lo que esta arquitectura debe ser compatible con este y con el SIRH. Esta actividad sugiere incorporar los lineamientos para la construcción de metadatos sugeridos para cada temática a almacenar.
- 9) Planteamiento de un Geoportal del proyecto para que el equipo de trabajo y coordinadores accedan a la información y el avance del proyecto. Se deben plantear los perfiles de usuario y los permisos de los mismos.
  - 10) De acuerdo con las amenazas o intereses ecohidrológicos a resolver, se selecciona el modelo o los modelos a desarrollar. Estos de preferencia deben ser fáciles de acoplar entre componentes bióticos y abióticos. Como ya se ha indicado de código abierto para facilitar estas retroalimentaciones entre modelos y tener el control de la eficiencia del desempeño de los mismos.
  - 11) Realizar una visita de reconocimiento de la zona de interés, abriendo un espacio para validar el modelo conceptual con actores y socializar el desarrollo del componente.
  - 12) Luego de seleccionar el o los modelos se prosigue con la construcción del modelo, indicando dominio, condiciones de borde, condiciones iniciales, ejercicios de calibración y planteamiento de escenarios. De manera similar se desarrollarán los modelos de línea biótica, ambos se desarrollaran con la información existente.
  - 13) Propuesta del esquema de acople de modelos hidrosedimentológico y de red trófica.
  - 14) Análisis de los primeros resultados del acople de los modelos seleccionados.
  - 15) Plantear la estrategia de monitoreo para mejorar la ejecución de modelos, indicando simultaneidad de mediciones, equipos, temporalidad, profesionales y estrategia de monitoreo participativo de la comunidad. La estrategia de monitoreo es de variables bióticas y abióticas, de manera que exista una integridad de los componentes y así se pueda caracterizar el ecosistema. Todas las mediciones bióticas, abióticas y sociales deben estar georreferenciadas y amarradas a coordenadas reales de acuerdo con la red de puntos del IGAC, tanto en planimetría como altimetría. Las variables hidráulicas de preferencia se deben hacer de manera simultánea o en una ventana de tiempo menor a la semana de manera que se pueda tener una representación semiestacionaria de la dinámica hídrica. Se deben describir los



procedimientos de caracterización de la biodiversidad (flora, fauna y microorganismos) del ecosistema terrestre y acuático, en especial de los recursos hidrobiológicos, junto con la caracterización del hábitat de los peces. ([Enlace con el componente 3 del proyecto GEF-Magdalena](#)).

- 16) Revisión y estimación de indicadores ambientales que se puedan implementar con la información existente. Estos incluyen los sugeridos por el ENA así como los que se refieren a la integridad ecológica, es decir los indicadores deben sugerir el estado de salud del ecosistema. ([Enlace con el componente 3 del proyecto GEF-Magdalena](#)).
- 17) Planteamiento de indicadores de salud del ecosistema de manera que se integre el componente biótico y a biótico. ([Enlace con el componente 3 del proyecto GEF-Magdalena](#)).
- 18) Sugerir ecosistemas que brinden apoyo en el diagnóstico de la salud del ecosistema.

#### 4.1.3 Fase 2 Monitoreo y posproceso.

- 1) Realización del Taller Fase de monitoreo en los sitios de muestreo, de manera que se le indique a la comunidad la importancia de la medición y el cuidado de los instrumentos o elementos que se dejan de manera permanente en los sitios (cámaras, sensores, miras, boyas, entre otros). Además, se debe dejar un material de muestreo de respuesta rápida y fácil uso para que la comunidad contribuya con un muestreo permanente y participativo. Se sugiere que sean de indicadores de calidad de agua. Aquí se muestra la propuesta de monitoreo participativo, diseñada en la fase 1.
- 2) Reconstruir la historia de uso de la biodiversidad con las comunidades asociados a las zonas de estudio
- 3) Identificar y valorar los servicios ecosistémicos con las comunidades de base y sectores económicos de la zona de Construir un diagrama de relaciones de interdependencia entre componentes hidrológicos e hidráulicos, bióticos y sociales





A partir de las recomendaciones de la fase 1 para mejorar los modelos piloto, ejecutar la estrategia de monitoreo de componentes abióticos y bióticos, de preferencia en modo simultáneo.

- Realizar el registro y monitoreo de la Biodiversidad en ecosistemas terrestres y acuáticos
  - Aplicación y análisis de índice de integridad biótica, índice de integridad ecológica, índices ecológicos, entre otros para verificar el estado del sistema natural.
  - Análisis multitemporal de coberturas y uso de suelo de las zonas de estudio
  - Análisis de composición y estructura del paisaje, para la determinación de fragmentación y conectividad de los sistemas fluviales de la zona de estudio.
  - Realizar un análisis de evaluación del impacto de las actividades antrópicas sobre el sistema natural, de forma que se enriquezca el modelo conceptual de relaciones del socio-ecosistema de la zona de estudio.
  - Análisis de conectividad funcional de la biodiversidad de la zona de estudio, de forma que fortalezca la conformación y conectividad de las áreas protegidas actuales y futuras.
  - Realizar el registro y monitoreo de componentes abióticos como topobatemetrías, aforos líquido y sólido, granulometrías, parámetros físico químicos, perforaciones para análisis estratigráficos, entre otros.
- 4) Realizar pruebas y análisis de laboratorio (Los protocolos de laboratorio se indican en los numerales 3.3.3 y 3.3.4)
  - 5) Terminar de construir el Geoportal
  - 6) Realizar talleres con la comunidad los profesionales del componente social.
  - 7) Consolidar la información geográfica de las mediciones con sus respectivos metadatos en el Geoportal.
  - 8) Preparar la información recolectada para que alimente los modelos y los indicadores
  - 9) Evaluar los indicadores propuestos de salud del ecosistema.
  - 10) Verificar los grupos muestreo de la biodiversidad el área de movilidad y comparar con el establecimiento de las áreas protegidas del componente 1 del proyecto GEF-



Magdalena, además de identificar la conectividad hídrica y su relación con los Mosaicos de Conservación. ([Enlace con el componente 1 del proyecto GEF-Magdalena](#)).

- 11) En esta fase se plantea la primera jornada de transferencia de conocimiento a través de una capacitación en los usos de sensores de medición en los componentes de hidrológica, hidráulica, calidad de agua y de ser posible de biodiversidad.

#### 4.1.4 Fase 3 Refinamiento de modelos

- 1) A partir de los modelos piloto planteados en la fase 1, refinar las configuraciones espaciales (niveles de refinamiento en las mallas y dominios computacionales), condiciones de contorno, condiciones iniciales y puntos de control.
- 2) Refinar el acople de modelos hidrodinámicos con los de red trófica y otros componentes bióticos.
- 3) Refinar el análisis de incertidumbre y hacer el análisis de sensibilidad.
- 4) Plantear alternativas de acuerdo a las amenazas identificadas y evaluar cada una de ellas.
- 5) Realizar talleres con los actores de tipo técnico acerca de los resultados o esquema de modelación (Sectores productivos, CAR's y academia).
- 6) Realizar las recomendaciones de una Reingeniería de la **Red de monitoreo Ecohidrológico** (Biodiversidad+Hidrometeorológico), que contenga elementos bióticos, abióticos, que fortalezcan la evaluación de los indicadores de salud del ecosistema y en especial el estado de los hábitat de las especies seleccionadas (Bagre rayado y bocachico). ([Enlace con el componente 3 del proyecto GEF-Magdalena](#)).
- 7) Consolidar una base de datos que registre la ecología, hábitat y área de distribución de la biodiversidad de las zonas de estudio.
- 8) Verificar la compatibilidad del Geoportal desarrollado en el proyecto con el SIAC, SIRH y otros Sistemas de información de los actores relacionados.





#### 4.1.5 Fase 4 Lineamientos de uso, manejo y conservación para la planificación ambiental territorial

- 1) Identifica los aspectos políticos, técnicos, normativos y procedimentales que han afectado la articulación e incidencia de las áreas protegidas en los procesos de desarrollo y ordenamiento territorial. ([Enlace con el componente 1 del proyecto GEF-Magdalena](#)).
- 2) Identificar posibles acciones de tipo estratégico y operativo para articular las áreas protegidas a procesos de ordenamiento territorial ([Enlace con el componente 1 del proyecto GEF-Magdalena](#)).
- 3) Incorporar los resultados del ejercicio de modelación como una herramienta para la toma de decisiones en el planeamiento del territorio.

#### 4.1.6 Fase 5 Análisis integral y resultados

A pesar de que esta actividad está de última en la lista, se aclara que es transversal a todo el desarrollo del componente. Siendo la encargada de dar el enfoque ecohidrológico-ecohidráulico y la integración con los componentes 1 y 3 del proyecto GEF-Magdalena.

En la parte final del proyecto esta fase se encarga de:

- 1) Socialización y validación de los resultados con el equipo de trabajo, los socios estratégicos y la comunidad.
- 2) Análisis definitivo integral por cada uno de los componentes y de la modelación ecohidrológica.
- 3) Realizar talleres con la comunidad de los resultados obtenidos
- 4) En esta fase se plantea la segunda jornada de transferencia de conocimiento, en la que se proyectan dos actividades (Tabla 14):

**Tabla 14 Vías para la transferencia de conocimiento en la Fase 5**

Tipo	Temática	Objetivos	Publico
Diplomado	Modelación ecohidrológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducir al estudiante en el estudio de la Ecohidrología como</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profesionales</li> <li>• Academia</li> </ul>





Tipo	Temática	Objetivos	Publico
		<p>nueva disciplina que contribuye al establecimiento de soluciones ambientalmente sostenibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Familiarizar al estudiante con el funcionamiento hidrológico y ecológico de los hidrosistemas ambientales tropicales.</li> <li>• Revisar y discutir las aproximaciones conceptuales y metodológicas empleadas para el estudio de procesos ecohidrológicos básicos.</li> <li>• Revisar el desarrollo del caso de estudio en los sitios elegidos del proyecto GEF-Magdalena</li> </ul>	
Curso	Manejo y conservación del territorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducir al estudiante en los principios básicos de manejo y conservación de ecosistemas</li> <li>• Familiarizar al estudiante con los instrumentos de planificación del territorio alrededor del recurso hídrico</li> <li>• Mostrar las principales estrategias de conservación desarrolladas desde la comunidad</li> <li>• Revisar el desarrollo del caso de estudio en los sitios elegidos del proyecto GEF-Magdalena</li> </ul>	Comunidad en general

Las siguientes figuras muestran de manera esquemática el desarrollo de las fases expuestas anteriormente:





**Nota: Se describen las actividades por temática mas no por persona.**

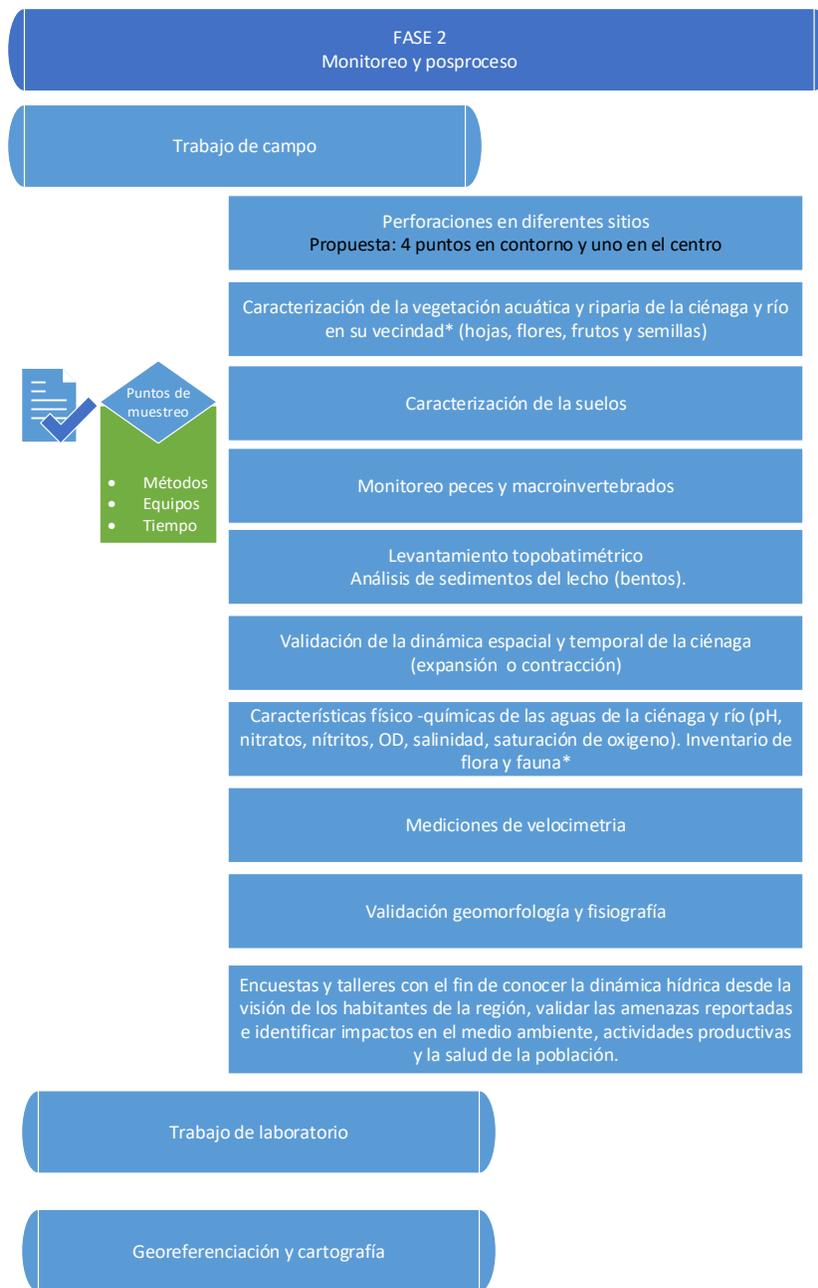
**El personal se describe en el siguiente capítulo**

**Figura 31 Planteamiento desarrollo de la fase Preliminares**



Figura 32 Planteamiento desarrollo fase 1 Modelos piloto y primeros resultados





**Figura 33 Planteamiento desarrollo fase 2 Monitoreo y pos proceso**



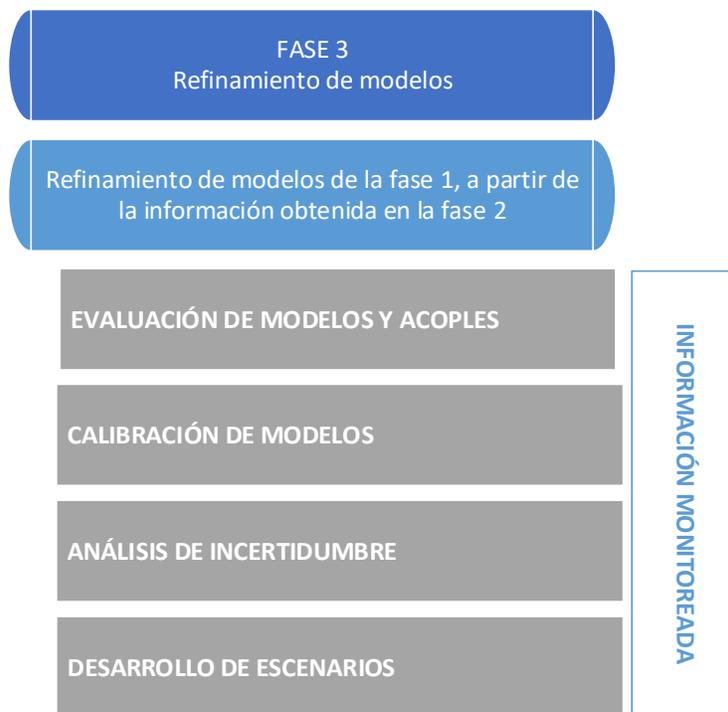
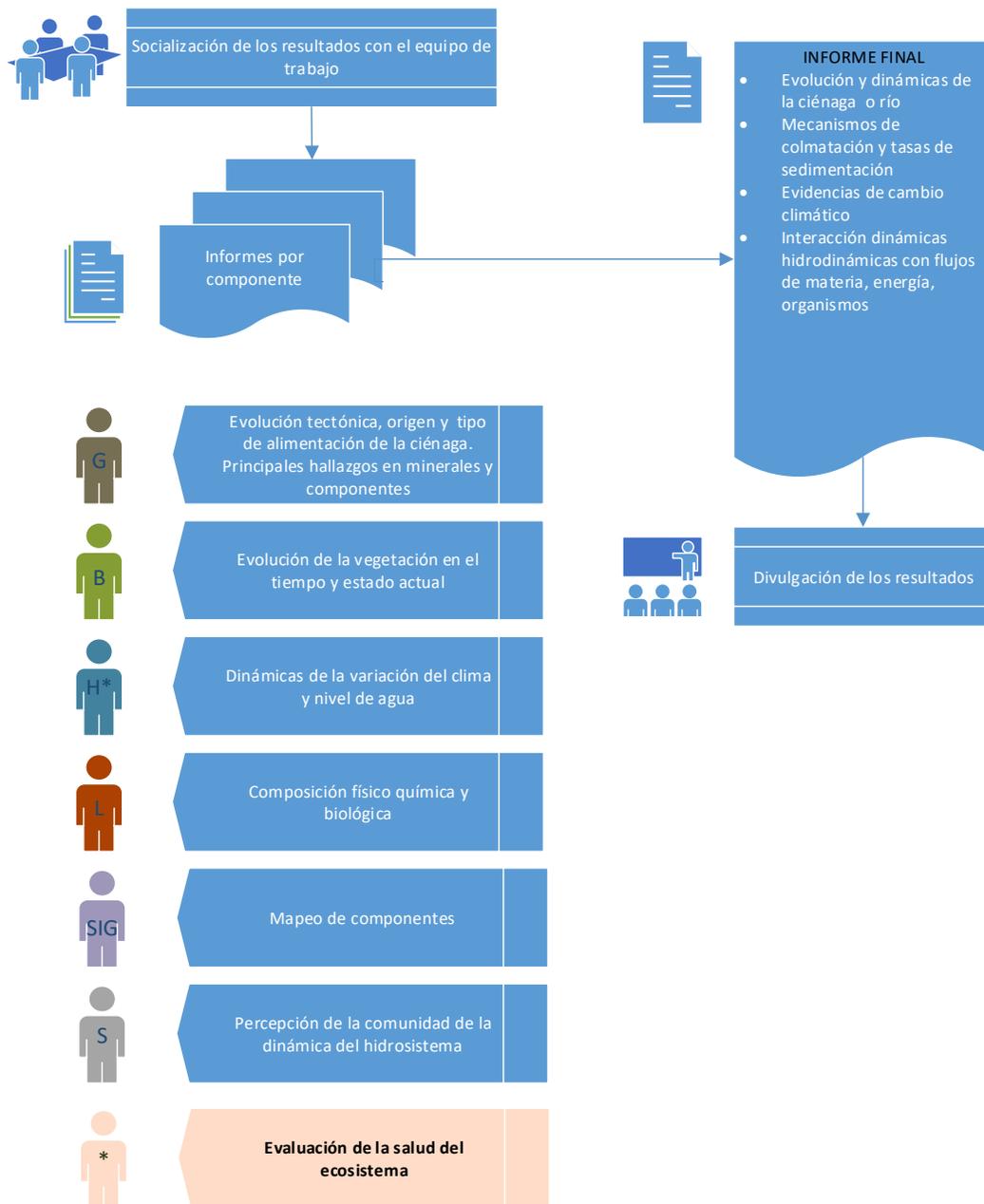


Figura 34 Planteamiento desarrollo fase 3 Refinamiento de modelos



## ANÁLISIS INTEGRAL Y RESULTADOS



**Figura 35 Planteamiento desarrollo fase Análisis s integral y resultados**



## 4.2 EQUIPO DE TRABAJO

La organización del equipo de trabajo tiene una estructura jerárquica donde se tiene la particularidad que en el componente social, Banco de datos y las comisiones de campo son transversales a los componentes Físico y Biótico. Adicionalmente se tiene destinada una coordinación administrativa. La construcción de los equipos que se muestran en la Figura 36 se diseñó de tal manera que se le pueda dar el enfoque Ecohidrológico-Ecohidráulico, con el ánimo de un trabajo transdisciplinar que contribuya al cumplimiento de los objetivos del proyecto GEF-Magdalena.

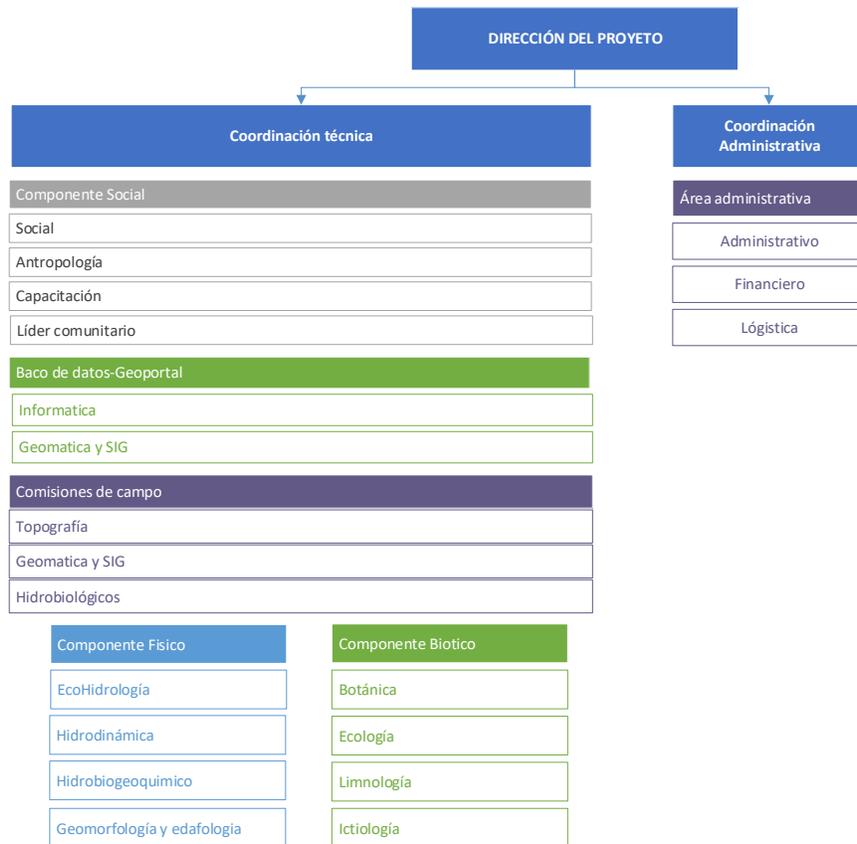


Figura 36 Organigrama del equipo de trabajo





### 4.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

De manera general el desarrollo del modelamiento del componente 2 (Específicamente los indicados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se estima se ejecute en **18** meses, donde las fases se desarrollan como se muestran en la Tabla 15. La etapa de Lineamientos con destino a los instrumentos de planificación local y regional se extiende más allá de los 18 meses pues toma como insumo los resultados de la modelación y el análisis integrado y se articula con el final de la fase de análisis integral y resultados y su gestión puede demorar un trimestre más, una vez finalizado el desarrollo del modelamiento ecohidrológico.

**Tabla 15 Cronograma general de las etapas de desarrollo del modelamiento ecohidrológico del componente 2.**

Meses																										
*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Preliminares	Fase 1 Modelos piloto y primeros resultados (8m)																									
			Fase 2 Monitoreo (9m)																							
			Fase 3 Modelamiento (16m)																							
																Fase 4 Lineamientos (8m)										
			Análisis integral (18 m)																							

La concepción de la Fase 5 Análisis integral, está basada en el desarrollo de la misma durante toda la ejecución de la modelación ecohidrológica. No solo depende de los resultados, también incorpora la construcción del modelo conceptual del sistema Socioecológico, construcción de modelos ecohidrológicos-ecohidráulicos, monitoreo, validación si es el caso del modelo y el análisis de resultados.

### 4.4 TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO

La Transferencia de conocimiento propuesta en el presente documento, comprende un conjunto de acciones a implementar a distintos niveles, el primero con las comunidades y el segundo con las instituciones. Están diseñadas con el ánimo de empoderar a los interesados en el conocimiento del funcionamiento de sus socioecosistema mediante el monitoreo y modelamiento matemático.





Las jornadas de Tránsito de conocimiento permitirán como su nombre lo sugiere transferir información, conocimientos, habilidades y competencias entre los asistentes y el moderador o responsable de la actividad. En la Tabla 16 se indicó de manera preliminar las dos actividades de transferencia, a continuación se indican más detalles para su implementación (Tabla 16)

**Tabla 16 Actividades para la transferencia de conocimiento**

Temática	Temas	Número de horas	Requerimientos
<b>Diplomado</b> Modelación ecohidrológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué es la ecohidrológica?</li> <li>• ¿Que son los sistemas Socioecológicos?</li> <li>• ¿Qué es el PHI y como Colombia hace parte?</li> <li>• Experiencias a nivel mundial en modelamiento Ecohidrológico</li> <li>• Tipos de modelos y protocolos de modelación</li> <li>• Requerimientos de los modelos y necesidad del monitoreo</li> <li>• Medidas de desempeño y calibración de modelos</li> <li>• Ejercicios prácticos en casos de estudio en Colombia</li> <li>• Tendencias de los modelos ecohidrológicos a nivel mundial y Colombia</li> <li>• Salida técnica</li> </ul>	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Docente: Profesionales con experiencia específica en los temas a tratar.</li> <li>• Infraestructura del sitio: Equipos de cómputo con los software requeridos para el desarrollo de las practicas</li> </ul>
<b>Curso</b> Manejo y conservación del territorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que son y para qué sirven los instrumentos de planificación</li> <li>• Como los ciudadanos contribuyen a la elaboración y cumplimiento de las normas de los instrumentos?</li> <li>• Revisión de los instrumentos de ámbito nacional y regional</li> <li>• Mesas de trabajo</li> </ul>	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Docente: Profesionales con experiencia específica en los temas a tratar.</li> <li>• Infraestructura del sitio: Proyector y mesas de trabajo</li> </ul>



#### 4.5 ARTICULACIÓN DEL MODELAMIENTO A LOS INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO

“En Colombia la administración del recurso hídrico está dada por la implementación de diferentes instrumentos y herramientas técnicas y normativas, basados en el conocimiento del cuerpo de agua y su respectivo análisis para definir la mejor opción de manejo, pues de esto dependerá su efectividad lo cual busca garantizar las condiciones adecuadas de las cuencas. Dentro de éstos instrumentos y herramientas de administración, se resaltan las concesiones de agua, la identificación de usuarios con captaciones y vertimientos, los permisos de vertimiento, las autorizaciones por ocupación de cauce, los planes de ordenamiento del recurso hídrico, los planes de saneamiento y manejo de vertimientos, la estimación de caudal ambiental y rondas hídricas, procesos de reglamentación de uso y vertimientos y el monitoreo sistemático del cuerpo de agua” (Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua, 2018).

En este contexto el actual informe contempla un alcance relacionado así “Propuesta sobre necesidades y actividades que permitan y/o promuevan la incorporación de los resultados de los modelamientos en los instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio, del recurso hídrico, de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad relacionada”. La Fundación Natura ha contemplado la contratación de personal especializado para apoyar el desarrollo de la Fase 4 descrita en la subsección 4.1.5 del actual documento “4.1.5 Fase 4 Lineamientos de uso, manejo y conservación de para la planificación territorial”, el cual se debe articular con el equipo que ha desarrollado o implementado las acciones de cada una de las fases del modelamiento ecohidrológico. Al respecto, se propone que este contratista considere las siguientes necesidades y desarrolle las siguientes actividades de tal forma que efectivamente se *“promueva la incorporación de los resultados de los modelamientos en los instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio, del recurso hídrico, de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad relacionada”*:





1. Identificación, definición, alcance y articulación de instrumentos de ordenación del recurso hídrico y del territorio en el contexto de la Institucionalidad y Normatividad Colombiana. Tal articulación considerará aquellos instrumentos de orden nacional, regional, departamental y local, haciendo especial énfasis a la articulación (“horizontal y verticalmente”) que se encuentre establecida con los Planes de Ordenamiento Pesquero, cuando aplique.
2. Generar “una línea de tiempo” para los sitios de interés del proyecto de los principales hitos en materia de ordenamiento del recurso hídrico y del territorio. Es decir, si se encuentran desarrollados, promulgados, actualizados y aquellos que se encuentren previstos por desarrollar con fechas posibles de promulgación en un horizonte de 15 años hacia atrás y hacia adelante (futuro). Esto permitirá conocer las oportunidades para la efectiva incorporación en los instrumentos de las recomendaciones que surgirían de los ejercicios de modelamiento y monitoreo que se desarrollen y produzcan del proyecto actual.
3. Ubicar en la anterior “línea de tiempo” las cinco fases metodológicas que se han descrito como “hoja de ruta” y propuesta metodológica a ser implementada en los tres hidrosistemas seleccionados para los ejercicios de modelación. Esto con el fin de refinar el cronograma en cada uno de los sitios de acuerdo con el alcance establecido y así avanzar en la conformación de los lineamientos de planificación.
4. Dado que el POMCA corresponde al instrumento de mayor jerarquía el cual genera zonificaciones ambientales y condicionantes a los instrumentos de ordenación del territorio, se espera que se describa explícitamente como dentro de este instrumento la modelación ecohidrológica y ecohidráulica establece la salud de los ecosistemas acuícolas involucrados, se articula con los otros instrumentos de modelación que se conciben y desarrollen para el desarrollo establecido en las etapas de formulación del POMCA. Es necesario verificar en los proyectos propuestos para la implementación de los POMCA involucrados, cuales se refieren a los resultados obtenidos del modelamiento, si existe o no relación con los diagnósticos en que se basan dicho instrumento, fue identificada dicha problemática, o no tiene ninguna relación lo que se plantea en la fase de los análisis, hay que evidenciar este





- comportamiento. Es de reconocer que existen guías dadas por parte del Ministerio de Ambiente para tal efecto así como lineamientos para la incorporación del riesgo, estacionariedad de eventos extremos y cambio climático en dichas fases del desarrollo y promulgación del POMCA.
5. La salud de los ecosistemas dulceacuícolas que se estudiarán vía ejercicios de modelación y monitoreo ecohidrológico y ecohidráulico podría ser enmarcado bajo los ejercicios de evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo que considera el POMCA, esto podría facilitar la incorporación de resultados, análisis y productos generados con la modelación que se propone. En otras palabras, las consideraciones de riesgo que ya tiene establecidos el POMCA deberán ser revisados para evaluar la factibilidad de incorporar la salud de los ecosistemas bajo el concepto de Riesgo.
  6. De igual forma sucederá con los lineamientos que se tienen establecidos en los POMCAS para la incorporación de análisis no estacionarios de eventos extremos, variabilidad climática y cambio climático. Se trata entonces de aprovechar estos lineamientos ya establecidos y articularlos con la necesidad que estos generan de contar con artefactos de modelación dinámica (no estacionaria) para su estudio y estimación. Es decir, contar con herramientas de modelación ecohidrológica y ecohidráulica calibradas y con análisis de incertidumbre deberá facilitar la incorporación de estas afectaciones por clima.
  7. Lo expuesto anteriormente se espera impacte favorablemente a los ejecutores de POMCAS, ya que no sólo se darán nuevas herramientas de modelación para el desarrollo, implementación y seguimiento al POMCA, sino también se facilitará articular todos los artefactos de modelación mejorando los actualmente empleados al convertirlos en artefactos más robustos de modelación integrada, igual debe suceder con los Planes de Manejo Ambiental de las áreas protegidas involucradas en las zonas de estudio de los modelamientos.
  8. Los Planes de Desarrollo de los municipios y de las gobernaciones deben incluir este aspecto del compromiso para el mejoramiento de la salud de los ecosistemas, con el propósito de procurar la asignación de recursos de presupuesto a fin de





- complementar acciones de monitoreo que permita la actualización de los modelos trabajados; esto implica que se requiere gestión a nivel de esos entes territoriales, desde el inicio de la consultorías de modelamiento ecohidrológico a fin de informar y motivar a los tomadores de decisiones sobre la necesidad e importancia de tener en cuenta los resultados y de volverlos vinculantes
9. El consultor (o consultores) que se contrate para generar estas recomendaciones deberá trabajar en forma estrecha y articulada con el equipo ejecutor de la modelación ecohidrológica y ecohidráulica que fuera seleccionado para ejecutar tales ejercicios, por lo cual debe incorporarse al equipo de modelamiento con anterioridad a la terminación de la fase de análisis y resultados
  10. También se espera que las actividades y productos que acuerden con este consultor se divulguen, discutan y acuerden con los actores de la institucionalidad colombiana, en particular con el Ministerio de Ambiente, Agricultura, IDEAM, CAR, Secretarios de Entes Territoriales como alcaldes municipales, gobernaciones, y distritos, entre otros y diversos actores tales como la UNGRD.
  11. Los protocolos de monitoreo ecohidrológico y ecohidráulico así como sus respectivas recomendaciones que se desprendan y generen de estos ejercicios orientados a la salud de los ecosistemas y planes de ordenamiento pesquero, deberán ser considerados y propuestos en las líneas de tiempo mencionados anteriormente, ya que se entiende que los artefactos de modelación deben tener esquemas de “mantenimiento” de los mismos, en donde cada dato nuevo generado por monitoreos sistemáticos imponga una nueva iteración para mejorar el desempeño e incertidumbre de los modelos.





## 5 ALCANCE DE LA MODELACIÓN, EQUIPOS DE TRABAJO Y ESCENARIOS PRESUPUESTALES

De acuerdo con la información existente de monitoreo y modelamiento a nivel local y Macrocuenca, en el presente capítulo se identificaron los alcances de la modelación ecohidrológica-ecohidráulica en cada uno de los sitios seleccionados. El alcance se define tomando como referencia lo indicado en el Capítulo 4 ETAPAS DE DESARROLLO DE LA MODELACIÓN ECOHIDROLOGICA DEL COMPONENTE 2 y de común acuerdo se tomó la decisión con la Coordinación del proyecto y la Supervisión de la Consultoría, Ingeniera Beatriz Hernández, coordinadora del componente 2. Posteriormente se plantean los equipos de trabajo para ejecutar el modelamiento y por último se definen diferentes escenarios presupuestales en función del tipo de contratación (Tabla 17). Para resumir la Tabla 25 muestra los costos de cada escenario. A continuación se describen los alcances de modelamiento en cada sitio.

### 5.1 ALCANCE DE MODELACIÓN ECOHIDROLÓGICA-ECOHIDRÁULICA EN CADA SITIO

#### 5.1.1 Modelación ecohidrológica-ecohidráulica en Ciénaga de Zapatosa

Considerando que la Ciénaga de Zapatosa tiene poca información disponible, tanto física como biótica, como se mostró en la sección 3.5 PROTOCOLO DE MODELACIÓN Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA DE LOS CUATRO PASOS PARA EL CASO DE LA CIÉNAGA DE ZAPATOSA se tomó la decisión que en este hidrosistema es prioritario fortalecer su conocimiento a través del modelamiento ecohidrológico-ecohidráulico. Para ello, en el esquema de las 5 fases de modelamiento, este sitio contempla la ejecución de todas estas fases. La descripción y alcance de estas fases ya se realizó en el capítulo anterior pero a continuación se describen las específicas a este sitio:





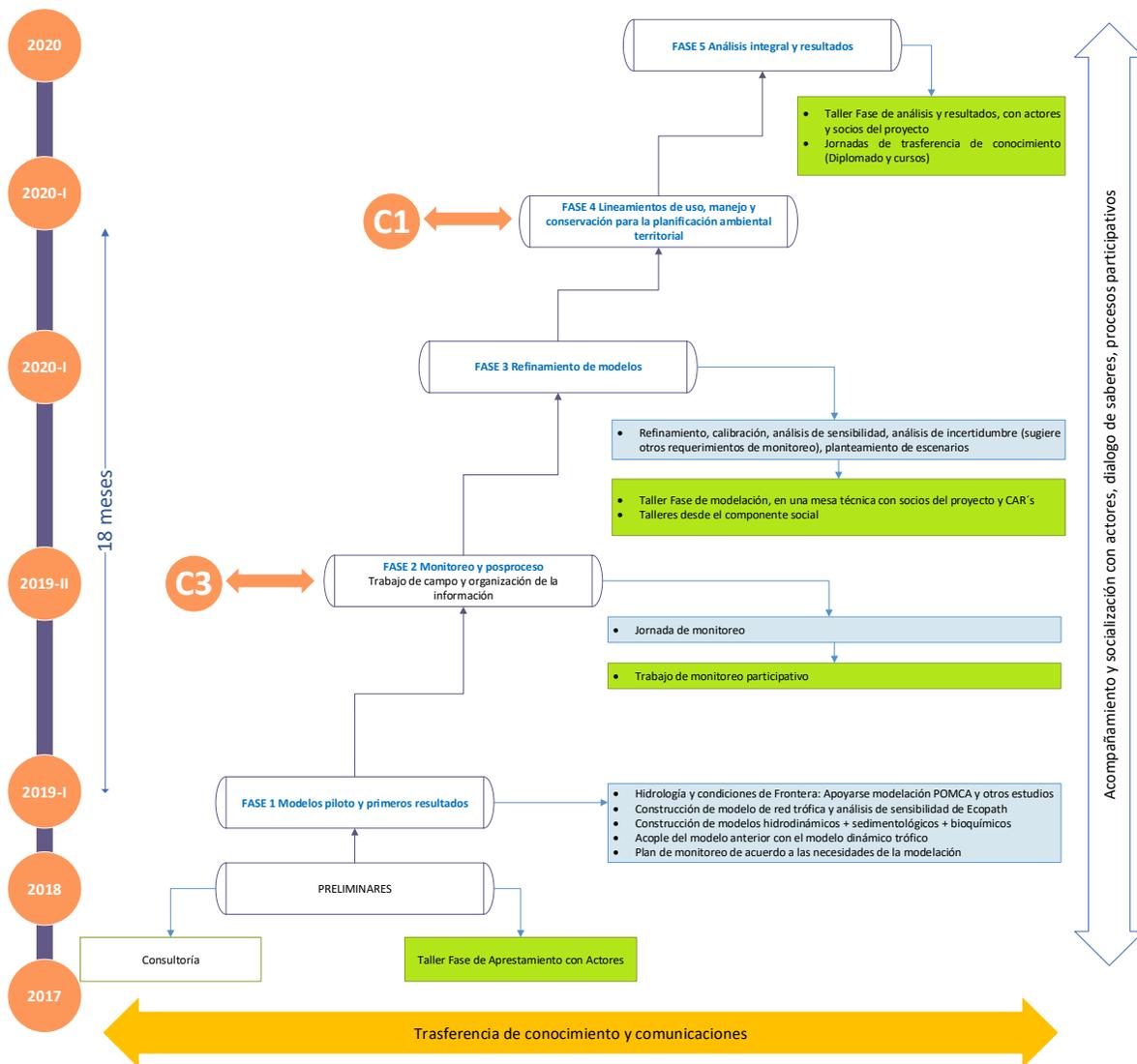
- i. Preliminares: Incluye la presente consultoría con la visita de reconocimiento a la Ciénaga de Zapatosa en Febrero de 2018, Taller de socialización en Montería, Taller de socialización en IDEAM, visitas por parte de la Coordinadora del Componente a Corposesar, interacción vía electrónica con actores de interés, Visita a Unimagdalena en el mes de Febrero de 2018. Igualmente las actividades preparatorias o de inicio que el equipo consultor adelanta con la complementación de la información de base que no se logró conseguir en esta consultoría, el levantamiento de la línea base en lo social, la visita de reconocimiento de las áreas a trabajar y la presentación del trabajo a realizar a las autoridades locales y regionales, así como la elaboración del plan de trabajo y cronograma detallado para el desarrollo del modelamiento.
- ii. Fase 1 Modelos piloto y primeros resultados:
  - a. Para el modelo ecohidrológico y condiciones de frontera, se plantea apoyarse en la modelación del POMCA y otros estudios
  - b. Es necesario identificar la información hidroclimática, sedimentológica, biótica, cartográfica, hidráulica, disponible, su ubicación, disponibilidad y estado
  - c. Construcción de modelo de red trófica y análisis de sensibilidad de Ecopath con la información existente
  - d. Construcción de modelos hidrodinámicos + sedimentológicos + bioquímicos con la información existente
  - e. Construir el acople del modelo hidrodinámicos + sedimentológicos + bioquímicos con el modelo dinámico trófico
  - f. De acuerdo con las necesidades surgidas de la construcción del modelo conceptual y computacional, proponer un “Plan de monitoreo” para la fase 2.
- iii. Fase 2 Monitoreo y posproceso
  - a. Realizar la socialización con la comunidad para la jornada de monitoreo para hacer monitoreo participativo
  - b. Implementación del Plan de Monitoreo. Realizar las jornadas de monitoreo
  - c. Integración con el componente 3 del proyecto GEF-Magdalena, verificar puntos en común y posible sincronía en las jornadas de monitoreo
- iv. Fase 3 Refinamiento de modelos





- a. Tratamiento de la información obtenida a través de monitoreo en la fase anterior.
  - b. Con la información levantada en el paso 2 se sigue con el refinamiento del modelo, calibración, análisis de sensibilidad, análisis de incertidumbre (sugiere otros requerimientos de monitoreo), planteamiento de escenarios
  - c. Realizar el Taller Fase de modelación, en una mesa técnica con socios del proyecto y CAR's
  - d. Realizar Talleres desde el componente social
- v. Fase 4 Lineamientos de manejo y conservación para la planificación ambiental territorial
- a. Integración con el componente 1 del proyecto GEF-Magdalena
- vi. Fase 5 Análisis integral de resultados
- a. Realizar el análisis integral de resultados
  - b. Realizar el Taller Fase de análisis y resultados, con actores y socios del proyecto
  - c. Realizar las Jornadas de trasferencia de conocimiento (Diplomado y cursos)





**Figura 37 Alcance de la modelación ecohidrológica - ecohidráulica en la Ciénaga de Zapatosa**

### 5.1.2 Modelación ecohidrológica-ecohidráulica en Ciénaga de Ayapel

Considerando que la Ciénaga de Ayapel tiene una buena información biótica y unos ejercicios de modelación hidrodinámica 2D y de redes tróficas, se tomó la decisión que en este hidrosistema es prioritario acoplar estos dos tipos de modelación. Para ello, en el



esquema de las 5 fases de modelamiento, este sitio contempla la ejecución de la fase 1, 4 y 5. La descripción de estas fases ya se realizó en el capítulo anterior pero a continuación se describen las específicas a este sitio:

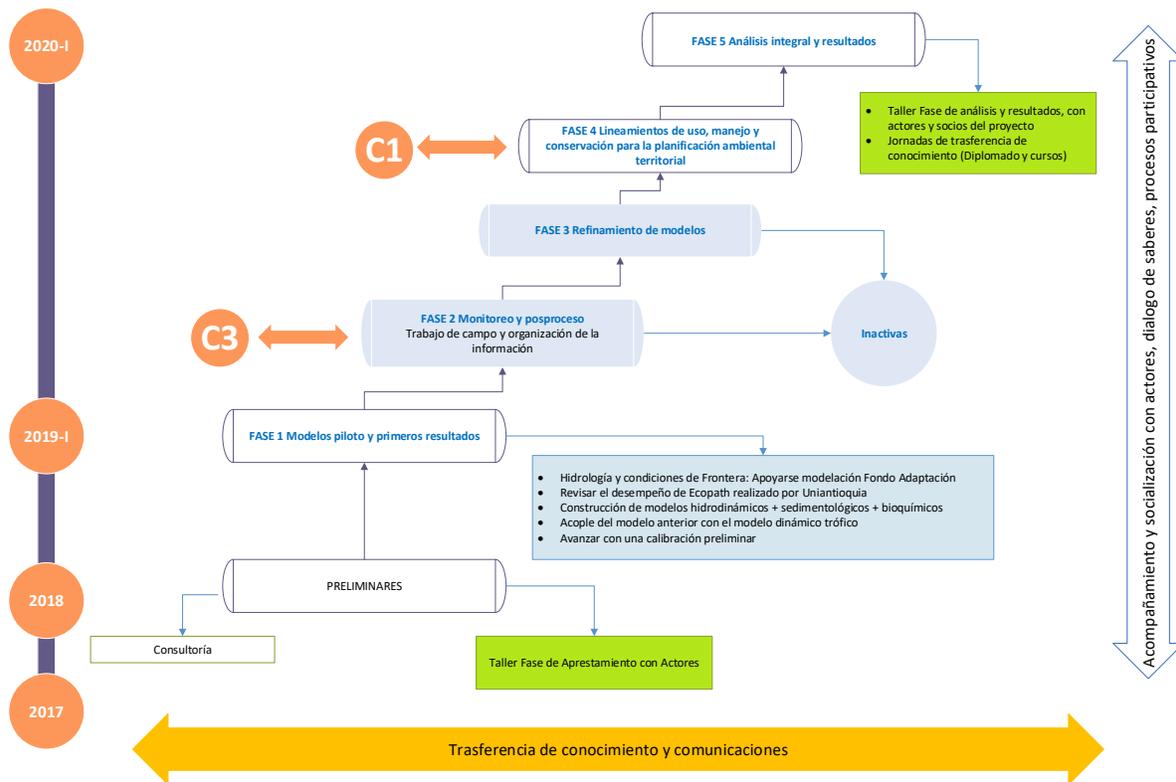
- i. Preliminares: Incluye la presente consultoría con la visita de reconocimiento a la Ciénaga de Ayapel en Marzo de 2018, Taller de socialización en Montería, Taller de socialización en IDEAM, visitas por parte de la Coordinadora del Componente a CVS, Unicordoba, PNUD, e interacción vía electrónica con actores de interés. Igualmente las actividades preparatorias o de inicio que el equipo consultor adelante con la complementación de la información de base que no se logró conseguir en esta consultoría, el levantamiento de la línea base en lo social, la visita de reconocimiento de las áreas a trabajar y la presentación del trabajo a realizar a las autoridades locales y regionales, así como la elaboración del plan de trabajo y cronograma detallado para el desarrollo del modelamiento.
- ii. Fase 1 Modelos piloto y primeros resultados:
  - a. Refinar el modelo hidrológico y refinar condiciones de frontera, apoyándose en la modelación del Fondo Adaptación
  - b. Es necesario identificar la información hidroclimática, sedimentológica, biótica, cartográfica, hidráulica, disponible, su ubicación, disponibilidad y estado
  - c. Revisar el desempeño de Ecopath realizado por UdeA
  - d. Construcción de modelos hidrodinámicos + sedimentológicos + bioquímicos, apoyándose en la modelación del Fondo Adaptación
  - e. Acople del modelo hidrodinámicos + sedimentológicos + bioquímicos con el modelo dinámico trófico
  - f. Avanzar con una calibración preliminar. Acceder a la información hidrobiológica, que ha sido tomada por las Universidades de Antioquia y de Córdoba, para incorporarla al modelo en la medida de lo posible.
  - g. Contactar a los equipos que realizan dichos monitoreos, para tratar de concertar acciones de cooperación en este aspecto, que puedan servir de insumos a los modelos propuestos o planteados.
- iii. Fase 2 Monitoreo y posptoceso





- a. Esta fase se encuentra inactiva, pues se adelantó el ejercicio de modelación con la información existente.
- iv. Fase 3 Refinamiento de modelos
  - a. Esta fase se encuentra inactiva, pues se adelantó el ejercicio de modelación con la información existente
- v. Fase 4 Lineamientos de manejo y conservación para la planificación ambiental territorial
  - a. Integración con el componente 1 del proyecto GEF-Magdalena
- vi. Fase 5 Análisis integral de resultados
  - a. Realizar el análisis integral de resultados
  - b. Realizar el Taller Fase de análisis y resultados, con actores y socios del proyecto
  - c. Realizar las Jornadas de transferencia de conocimiento (Diplomado y cursos)





**Figura 38 Alcance de la modelación ecohidrológica - ecohidráulica en la Ciénaga de Ayapel**

### 5.1.3 Modelación ecohidrológica en la cuenca del río La Vieja

Considerando que la cuenca del río La Vieja tiene información base de modelación hidrológica a escala mensual y reconociendo que es diferente el funcionamiento al de las ciénagas por ser una cuenca con varias corrientes, se tomó la decisión que en este hidrosistema es prioritario avanzar en un modelo ecohidrológico que considere la evaluación de las funciones hidrológicas. Para ello, en el esquema de las 5 fases de modelamiento, este sitio contempla la ejecución de la fase 1, 4 y 5. La descripción de estas fases ya se realizó en el capítulo anterior pero a continuación se describen las específicas a este sitio:



- i. Preliminares: Incluye la presente consultoría, el Taller de socialización en Armenia, Taller de socialización en IDEAM, e interacción vía electrónica con actores de interés. Igualmente, las actividades preparatorias o de inicio que el equipo consultor adelantó con la complementación de la información de base que no se logró conseguir en esta consultoría, el levantamiento de la línea base en lo social, la visita de reconocimiento de las áreas a trabajar y la presentación del trabajo a realizar a las autoridades locales y regionales, así como la elaboración del plan de trabajo y cronograma detallado para el desarrollo del modelamiento.
- ii. Fase 1 Modelos piloto y primeros resultados:
  - a. Construcción Modelo hidrológico a resolución diaria (de base física: interacción clima-suelo-biota (vegetación). Incorporando: zonas de páramos, humedales y áreas protegidas
  - b. Aplicación de estimadores de servicios ecosistémicos a partir de información espacializada y herramientas de SIG (ejemplo: RHESSys -SWAT)
  - c. Acople del modelo hidrológico de base física con las herramientas de las plataformas como RHESSys
- iii. Fase 2 Monitoreo y posprocesos
  - a. Esta fase se encuentra inactiva, pues se adelantó el ejercicio de modelación con la información existente.
- iv. Fase 3 Refinamiento de modelos
  - a. Esta fase se encuentra inactiva, pues se adelantó el ejercicio de modelación con la información existente
- v. Fase 4 Lineamientos de manejo y conservación para la planificación ambiental territorial
  - a. Integración con el componente 1 del proyecto GEF-Magdalena
- vi. Fase 5 Análisis integral de resultados
  - a. Realizar el análisis integral de resultados
  - b. Realizar el Taller Fase de análisis y resultados, con actores y socios del proyecto





c. Realizar las Jornadas de transferencia de conocimiento (Diplomado y cursos)

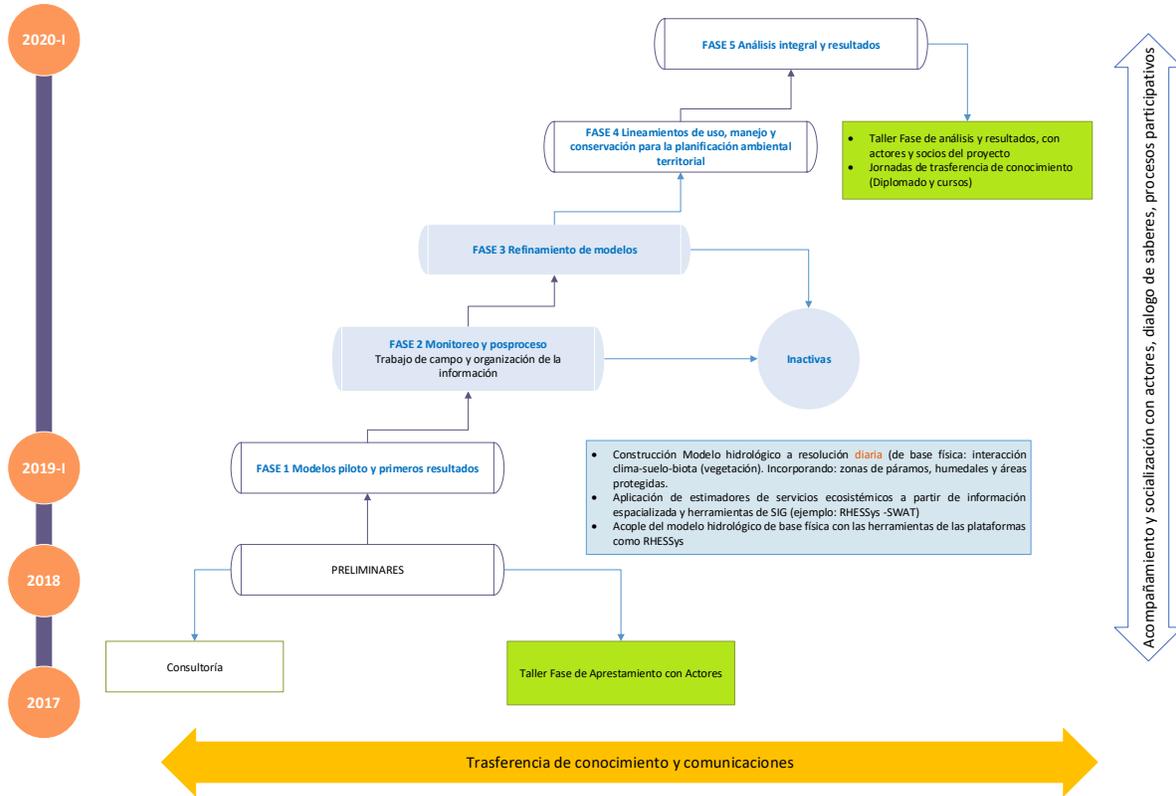


Figura 39 Alcance de la modelación ecohidrológica en la cuenca del río La Vieja

## 5.2 PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PRESUPUESTALES

De acuerdo con el alcance establecido para cada uno de los sitios se identificaron los profesionales para ejecutar los modelamientos y la duración de la misma. Asociados a los



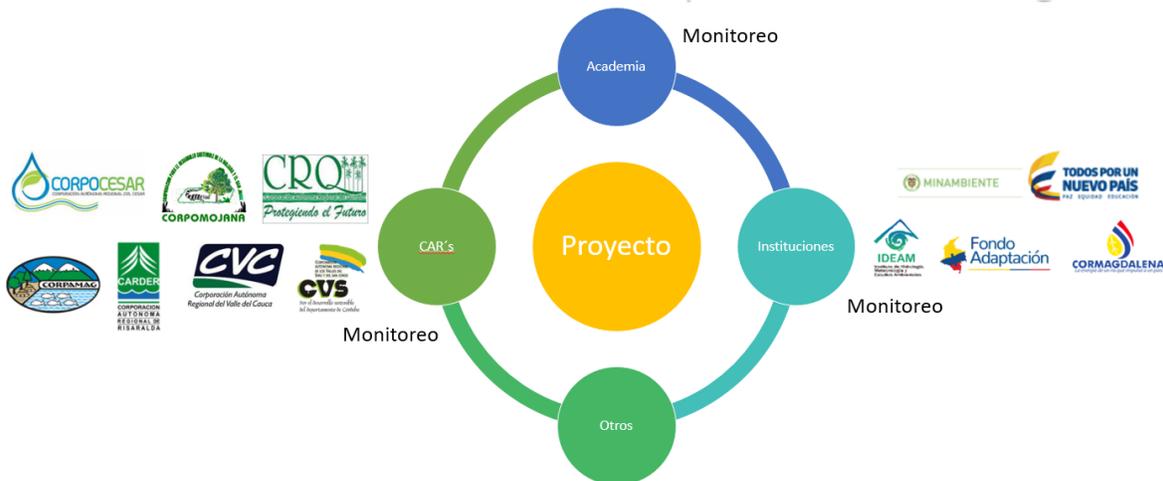


perfiles y tiempos se establecieron los presupuestos para cada sitio, los escenarios presupuestales se basan en la cantidad de sitios a ejecutar y al esquema de contratación. Este puede ser por consultoría o por investigación como se indica en la Tabla 17:

**Tabla 17 Planteamiento de escenarios presupuestales**

Escenarios Consultoría	Descripción	Escenarios Investigación	Descripción
E1c	Modelación de los 3 casos	E1i	Modelación de los 3 casos
E2c	Modelación de las 2 ciénagas	E2i	Modelación de las 2 ciénagas
E3c	Modelación Cuenca Río La Vieja	E3i	Modelación Cuenca Río La Vieja

La siguiente figura muestra quienes son los socios y aliados estratégicos para la ejecución de la propuesta de la presente consultoría. El diagrama sugiere un Actor “otros” pues es deseable que la entidad que ejecute consiga más recursos económicos.



**Figura 40 Alianzas y socios estratégicos para la consecución de recursos económicos o monitoreo**

Dentro de los ítems descritos en los escenarios presupuestales se encuentra el numeral 4. MONITOREO Y ENSAYOS, donde los costos para: i) Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales, y ii) Análisis isotópicos;





corresponden a un valor global estimado a partir de las cotizaciones de laboratorios certificados del IDEAM (Anexo H) y una tabla resumen de costos que dada la experiencia del Consultor ya se disponía de su archivo personal (Anexo J).

Dado que en la Ciénaga de Ayapel se contara con la información existente no se contemplan monitoreos ni ensayos. Para la Ciénaga de Zapatosa se tienen previstos trabajos de levantamiento topobatómico estimados en 30 días, repartidos en una campaña, en aguas altas de duración 20 días y una campaña en aguas bajas de duración 10 días. Esta duración es estimada por el consultor de acuerdo con su experiencia y está sujeta a las condiciones hidroclimatológicas y de orden público del sitio de muestreo. La batimetría debe estar acompañada de mediciones de aforo líquido, por ello se considera que el uso de ADCP es adecuado, junto con un amarre topográfico de alta precisión con GPS o RTK.

Respecto a los muestreos de calidad de agua se indican 50 para la Ciénaga de Zapatosa. Estos se deben repartir en 4 momentos del pulso de inundación (aproximadamente 12 muestreos por temporada): aguas en ascenso, aguas altas, aguas en descenso y aguas bajas. Los sitios de muestreo por temporada se establecerán de acuerdo con la conceptualización del modelo y con la definición del dominio computacional, deben seguir el mismo protocolo de toma de muestra, custodia y laboratorio para que sean comparables. En cuanto a los ensayos de isotopos, se indican 20 para la Ciénaga de Zapatosa y 10 para la cuenca del Río La Vieja; en esta última consideró la prueba de isotopos dada la importancia de los aportes de agua subterránea provenientes de las partes altas (parámos) donde se encuentran las áreas protegidas de interés del proyecto GEF-Magdalena.

Las cifras detalladas se indican de manera detallada los ensayos en la Tabla 18.

#### **Tabla 18 Descripción del ítem “Monitoreo y ensayos” por sitio**





DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	Ciénaga de Ayapel	Ciénaga de Zapatosa	Cuenca Río La Vieja
Topografía: Incluye estación, nivel, teodolito y elementos complementarios	Día	30	0	30	0
GPS de alta precisión	Día	30	0	30	0
Batimetría tipo ADCP	Día	30	0	30	0
Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales	No de muestras	50	0	50	0
Análisis isotópicos	No de muestras	30	0	20	10

De otro lado para el ítem 2. EQUIPOS Y SOFTWARE, se indicó que solo se requiere la compra de un computador para el desarrollo de los tres sitios o las dos ciénagas, esto porque se contempla que el equipo es el que se llevara a campo para compilar la información y hacerle un análisis previo para verificar la posible toma de muestras de réplica.

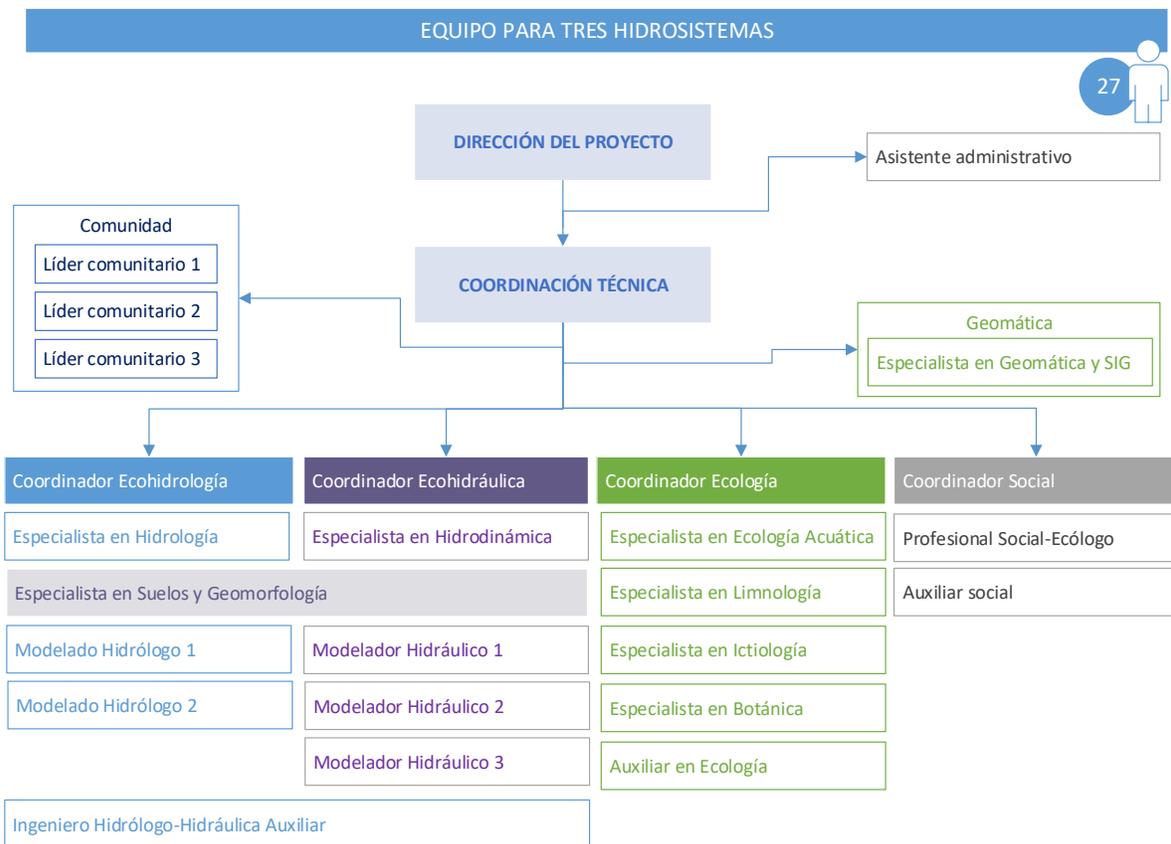
La Tabla 26 Resumen de escenarios presupuestales con aporte en monitoreo IDEAM no incluye costos de Lineamientos y Tránsito de Conocimiento, indica el costo por cada uno de los escenarios contando con el apoyo del IDEAM en la toma de la información topobatimétrica, los valores consignados en el ítem 4 solo corresponden a monitoreo de calidad de agua. De otro lado la Tabla 27 Resumen de escenarios presupuestales con aporte en monitoreo IDEAM e incluye costos de Lineamientos y Tránsito de Conocimiento, muestra los costos de manera que IDEAM aporte con el levantamiento topobatimétrico y los costos de la actividad de Tránsito de conocimiento y Lineamientos.





### 5.2.1 Escenario 1 modelación de los 3 casos de estudio

En este escenario se plantean desarrollar los modelamientos ecohidrológicos-ecohidráulicos en cada uno de los sitios pero con diferente alcance, de acuerdo a la información disponible. El equipo de trabajo está compuesto por 27 personas y el tiempo de ejecución es de 18 meses. La cantidad de muestreos está definida de acuerdo con la experiencia del consultor, está en función del área de estudio y la complejidad de la conectividad hídrica.



**Figura 41 Organigrama equipo de trabajo para la ejecución de los tres sitios (2 ciénagas y 1 cuenca)**





**Tabla 19 Presupuesto Escenario 1c: Modelación de los 3 casos de estudio en esquema de consultoría**

**PRESUPUESTO PROYECTO PARA TRES HIDROSISTEMAS Y ESQUEMA DE CONTRATACIÓN CONSULTORÍA**

<b>1. TALENTO HUMANO</b>				
<b>DESCRIPCIÓN FUNCIONAL</b>	<b>CANTIDAD DE PERSONAS POR ACTIVIDAD</b>	<b>VALOR HOMBRE/MES SEGÚN CATEGORÍA</b>	<b>No DE MESES</b>	<b>COSTO (\$) TOTAL HOMBRES EN EL PROYECTO</b>
Director del proyecto	1	\$ 8 000 000	18	\$ 144 000 000
Coordinador Técnico	1	\$ 7 000 000	18	\$ 126 000 000
Coordinador Hidrología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Hidrodinámica	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Ecología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Social	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Especialista en Suelos y Geomorfología	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en SIG	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Hidrología	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Hidrodinámica	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Limnología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ictiología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ecología Acuática	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Botánica	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Modelador Hidrólogo	2	\$ 3 000 000	18	\$ 108 000 000
Modelador Hidráulico	3	\$ 3 000 000	18	\$ 162 000 000
Profesional Social-Ecológico	1	\$ 3 000 000	18	\$ 54 000 000
Ingeniero Auxiliar	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Auxiliar en Ecología	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Auxiliar Social	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Líder comunitario	3	\$ 1 000 000	18	\$ 54 000 000
Asistente administrativo	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1 890 000 000</b>

<b>2. EQUIPOS Y SOFTWARE</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)</b>





Licencia de Programas Computacionales Especiales	Ud	\$ -	1	\$ -
Computador para la realización de los análisis	Ud	\$ -	1	\$ -
Laptop para visitas de campo	Ud	\$ 2 500 000	1	\$ 2 500 000
Impresora	Ud	\$ 1 500 000	0	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 2 500 000</b>

<b>3. MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Fotocopias a color de expedientes	Ud	\$ 150	300	\$ 45 000
Escáner de documentos	Ud	\$ 3 000	300	\$ 900 000
Fotoplanos- Copiado de gran formato en laser en papel Bond en tamaño pliego (600 x 900) en B/N.	Ud	\$ 20 000	100	\$ 2 000 000
Bibliografía	Ud	\$ 500 000	12	\$ 6 000 000
Mapas, documentos, información gráfica	Ud	\$ 150 000	100	\$ 15 000 000
Ploteo de planos disponibles de estudios anteriores. En Papel Bond tamaño pliego (600 x 900 mm) a color que permitan realizar el análisis de las variables geoespaciales,	Ud	\$ 10 000	100	\$ 1 000 000
Impresiones	Ud	\$ 500	2000	\$ 1 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 24 945 000</b>

<b>4. MONITOREO Y ENSAYOS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Topografía: Incluye estación, nivel, teodolito y elementos complementarios	Día	\$ 300 000	30	\$ 9 000 000
GPS de alta precisión	Día	\$ 162 500	30	\$ 4 875 000
Batimetría tipo ADCP	Día	\$ 1 000 000	30	\$ 30 000 000
Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales	No de muestras	\$ 3 839 100	50	\$ 191 955 000
Análisis isotópicos	No de muestras	\$ 500 000	30	\$ 15 000 000





<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 250 830 000</b>
-----------------	-----------------------

<b>5. TALLERES Y SOCIALIZACIONES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Talleres	ud	\$ 3 000 000	10	\$ 30 000 000
Socializaciones	ud	\$ 3 000 000	10	\$ 30 000 000
Alquiler de vehículos con conductor	día	\$ 400 000	20	\$ 8 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 68 000 000</b>

<b>6. VISITAS TÉCNICAS</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Alimentación	ud	\$ 220 000	80	\$ 17 600 000
Transporte	ud	\$ 1 000 000	80	\$ 80 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 97 600 000</b>

<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2 333 875 000</b>
<b>ADMINISTRACIÓN (30%)</b>	<b>\$ 1 000 232 143</b>
<b>TOTAL (COP)</b>	<b>\$ 3 334 107 143</b>

**Tabla 20 Presupuesto Escenario 1i: Modelación de los 3 casos de estudio en esquema de investigación**

**PRESUPUESTO PROYECTO PARA TRES HIDROSISTEMAS Y ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN**

<b>1. TALENTO HUMANO</b>				
DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	CANTIDAD DE PERSONAS POR ACTIVIDAD	VALOR HOMBRE/MES SEGÚN CATEGORÍA	No DE MESES	COSTO (\$) TOTAL HOMBRES EN EL PROYECTO
Director del proyecto	1	\$ 6 500 000	18	\$ 117 000 000
Coordinador Técnico	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Hidrología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000





Coordinador Hidrodinámica	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Ecología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Social	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Especialista en Suelos y Geomorfología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en SIG	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Hidrología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Hidrodinámica	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Limnología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ictiología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ecología Acuática	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Botánica	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Modelador Hidrólogo	2	\$ 3 000 000	18	\$ 108 000 000
Modelador Hidráulico	3	\$ 3 000 000	18	\$ 162 000 000
Profesional Social-Ecológico	1	\$ 3 000 000	18	\$ 54 000 000
Ingeniero Auxiliar	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Auxiliar en Ecología	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Auxiliar Social	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Líder comunitario	3	\$ 1 000 000	18	\$ 54 000 000
Asistente administrativo	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1 773 000 000</b>

<b>2. EQUIPOS Y SOFTWARE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Licencia de Programas Computacionales Especiales	Ud	\$ -	1	\$ -
Computador para la realización de los análisis	Ud	\$ -	1	\$ -
Laptop para visitas de campo	Ud	\$ 2 500 000	1	\$ 2 500 000
Impresora	Ud	\$ 1 500 000	0	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 2 500 000</b>

<b>3. MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Fotocopias a color de expedientes	Ud	\$ 150	300	\$ 45 000
Escáner de documentos	Ud	\$ 3 000	300	\$ 900 000





Fotoplanos- Copiado de gran formato en laser en papel Bond en tamaño pliego (600 x 900) en B/N.	Ud	\$ 20 000	100	\$ 2 000 000
Bibliografía	Ud	\$ 500 000	12	\$ 6 000 000
Mapas, documentos, información gráfica	Ud	\$ 150 000	100	\$ 15 000 000
Ploteo de planos disponibles de estudios anteriores. En Papel Bond tamaño pliego (600 x 900 mm) a color que permitan realizar el análisis de las variables geoespaciales,	Ud	\$ 10 000	100	\$ 1 000 000
Impresiones	Ud	\$ 500	2000	\$ 1 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 24 945 000</b>

4. MONITOREO Y ENSAYOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Topografía: Incluye estación, nivel, teodolito y elementos complementarios	Día	\$ 300 000	30	\$ 9 000 000
GPS de alta precisión	Día	\$ 162 500	30	\$ 4 875 000
Batimetría tipo ADCP	Día	\$ 1 000 000	30	\$ 30 000 000
Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales	No de muestras	\$ 3 839 100	50	\$ 191 955 000
Análisis isotópicos	No de muestras	\$ 500 000	30	\$ 15 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 250 830 000</b>

5. TALLERES Y SOCIALIZACIONES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Talleres	ud	\$ 3 000 000	10	\$ 30 000 000
Socializaciones	ud	\$ 3 000 000	10	\$ 30 000 000
Alquiler de vehículos con conductor	día	\$ 400 000	20	\$ 8 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 68 000 000</b>

6. VISITAS TÉCNICAS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)





Alimentación	ud	\$ 220 000	80	\$ 17 600 000
Transporte	ud	\$ 1 000 000	80	\$ 80 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 97 600 000</b>

<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$ 2 216 875 000</b>
<b>ADMINISTRACIÓN (11%)</b>		<b>\$ 273 995 787</b>
<b>TOTAL (COP)</b>		<b>\$ 2 490 870 787</b>

### 5.2.2 Escenario 2 modelación de las 2 ciénagas

En este escenario se plantean desarrollar los modelamientos ecohidrológicos en la Ciénaga de Ayapel y la Ciénaga de Zapatosa, cada uno con diferente alcance, de acuerdo a la información disponible y descrita detalladamente en las secciones 5.1.1 y 5.1.2. El equipo de trabajo está compuesto por 26 personas y el tiempo de ejecución es de 18 meses. La cantidad de muestreos está definida de acuerdo con la experiencia del consultor, está en función del área de estudio y la complejidad de la conectividad hídrica.



EQUIPO PARA DOS CIENAGAS

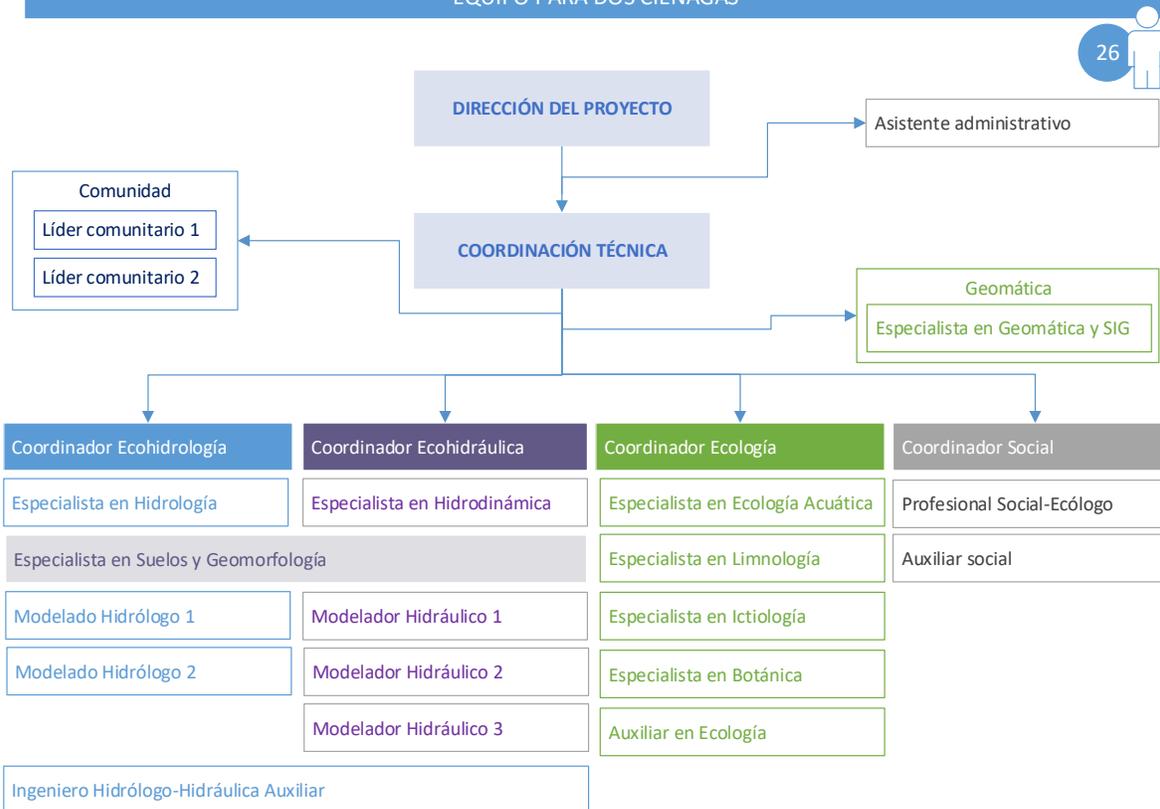


Figura 42 Organigrama equipo de trabajo para la ejecución de dos ciénagas

Tabla 21 Presupuesto Escenario 2c: Modelación de las dos ciénagas en esquema de consultoría

PRESUPUESTO PROYECTO PARA DOS CIENAGAS Y ESQUEMA DE CONTRATACIÓN DE CONSULTORIA				
1. TALENTO HUMANO				
DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	CANTIDAD DE PERSONAS POR ACTIVIDAD	VALOR HOMBRE/MES SEGÚN CATEGORIA	No DE MESES	COSTO (\$) TOTAL HOMBRES EN EL PROYECTO
Director del proyecto	1	\$ 8 000 000	18	\$ 144 000 000
Coordinador Técnico	1	\$ 7 000 000	18	\$ 126 000 000
Coordinador Hidrología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Hidrodinámica	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000



Coordinador Ecología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Social	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Especialista en Suelos y Geomorfología	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en SIG	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Hidrología	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Hidrodinámica	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Limnología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ictiología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ecología Acuática	1	\$ 5 000 000	18	\$ 90 000 000
Especialista en Botánica	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Modelador Hidrólogo	2	\$ 3 000 000	18	\$ 108 000 000
Modelador Hidráulico	3	\$ 3 000 000	18	\$ 162 000 000
Profesional Social-Ecológico	1	\$ 3 000 000	18	\$ 54 000 000
Ingeniero Auxiliar	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Auxiliar en Ecología	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Auxiliar Social	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Líder comunitario	2	\$ 1 000 000	18	\$ 36 000 000
Asistente administrativo	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1 872 000 000</b>

## 2. EQUIPOS Y SOFTWARE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Licencia de Programas Computacionales Especiales	Ud	\$ -	1	\$ -
Computador para la realización de los análisis	Ud	\$ -	1	\$ -
Laptop para visitas de campo	Ud	\$ 2 500 000	1	\$ 2 500 000
Impresora	Ud	\$ 1 500 000	0	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 2 500 000</b>

## 3. MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Fotocopias a color de expedientes	Ud	\$ 150	200	\$ 30 000
Escáner de documentos	Ud	\$ 3 000	200	\$ 600 000





Fotoplanos- Copiado de gran formato en laser en papel Bond en tamaño pliego (600 x 900) en B/N.	Ud	\$ 20 000	70	\$ 1 400 000
Bibliografía	Ud	\$ 500 000	10	\$ 5 000 000
Mapas, documentos, información gráfica	Ud	\$ 150 000	70	\$ 10 500 000
Proteo de planos disponibles de estudios anteriores. En Papel Bond tamaño pliego (600 x 900 mm) a color que permitan realizar el análisis de las variables geoespaciales,	Ud	\$ 10 000	70	\$ 700 000
Impresiones	Ud	\$ 500	1500	\$ 750 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 18 230 000</b>

#### 4. MONITOREO Y ENSAYOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Topografía: Incluye estación, nivel, teodolito y elementos complementarios	Día	\$ 300 000	30	\$ 9 000 000
GPS de alta precisión	Día	\$ 162 500	30	\$ 4 875 000
Batimetría tipo ADCP	Día	\$ 1 000 000	30	\$ 30 000 000
Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales	No de muestras	\$ 3 839 100	50	\$ 191 955 000
Análisis isotópicos	No de muestras	\$ 500 000	20	\$ 10 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 245 830 000</b>

#### 5. TALLERES Y SOCIALIZACIONES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Talleres	ud	\$ 3 000 000	6	\$ 18 000 000
Socializaciones	ud	\$ 3 000 000	6	\$ 18 000 000
Alquiler de vehículos con conductor	día	\$ 400 000	15	\$ 6 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 42 000 000</b>

#### 6. VISITAS TÉCNICAS





DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Alimentación	ud	\$ 220 000	60	\$ 13 200 000
Transporte	ud	\$ 1 000 000	60	\$ 60 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 73 200 000</b>

<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2 253 760 000</b>
<b>ADMINISTRACIÓN (30%)</b>	<b>\$ 965 897 143</b>
<b>TOTAL (COP)</b>	<b>\$ 3 219 657 143</b>

**Tabla 22 Presupuesto Escenario 2i: Modelación de las dos ciénagas en esquema de investigación**

**PRESUPUESTO PROYECTO PARA DOS CIENAGAS Y ESQUEMA DE CONTRATACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

1. TALENTO HUMANO				
DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	CANTIDAD DE PERSONAS POR ACTIVIDAD	VALOR HOMBRE/MES SEGÚN CATEGORÍA	No DE MESES	COSTO (\$) TOTAL HOMBRES EN EL PROYECTO
Director del proyecto	1	\$ 6 500 000	18	\$ 117 000 000
Coordinador Técnico	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Hidrología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Hidrodinámica	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Ecología	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Coordinador Social	1	\$ 6 000 000	18	\$ 108 000 000
Especialista en Suelos y Geomorfología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en SIG	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Hidrología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Hidrodinámica	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Limnología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ictiología	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Ecología Acuática	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Especialista en Botánica	1	\$ 4 000 000	18	\$ 72 000 000
Modelador Hidrólogo	2	\$ 4 000 000	18	\$ 144 000 000
Modelador Hidráulico	3	\$ 4 000 000	18	\$ 216 000 000





Profesional Social-Ecológico	1	\$ 3 000 000	18	\$ 54 000 000
Ingeniero Auxiliar	1	\$ 3 000 000	18	\$ 54 000 000
Auxiliar en Ecología	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Auxiliar Social	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
Líder comunitario	2	\$ 1 000 000	18	\$ 36 000 000
Asistente administrativo	1	\$ 2 000 000	18	\$ 36 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 1 845 000 000</b>

<b>2. EQUIPOS Y SOFTWARE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Licencia de Programas Computacionales Especiales	Ud	\$ -	1	\$ -
Computador para la realización de los análisis	Ud	\$ -	1	\$ -
Laptop para visitas de campo	Ud	\$ 2 500 000	1	\$ 2 500 000
Impresora	Ud	\$ 1 500 000	0	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 2 500 000</b>

<b>3. MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Fotocopias a color de expedientes	Ud	\$ 150	200	\$ 30 000
Escáner de documentos	Ud	\$ 3 000	200	\$ 600 000
Fotoplanos- Copiado de gran formato en laser en papel Bond en tamaño pliego (600 x 900) en B/N.	Ud	\$ 20 000	70	\$ 1 400 000
Bibliografía	Ud	\$ 500 000	10	\$ 5 000 000
Mapas, documentos, información gráfica	Ud	\$ 150 000	70	\$ 10 500 000
Ploteo de planos disponibles de estudios anteriores. En Papel Bond tamaño pliego (600 x 900 mm) a color que permitan realizar el análisis de las variables geoespaciales,	Ud	\$ 10 000	70	\$ 700 000
Impresiones	Ud	\$ 500	1500	\$ 750 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 18 230 000</b>

<b>4. MONITOREO Y ENSAYOS</b>
-------------------------------





DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Topografía: Incluye estación, nivel, teodolito y elementos complementarios	Día	\$ 300 000	30	\$ 9 000 000
GPS de alta precisión	Día	\$ 162 500	30	\$ 4 875 000
Batimetría tipo ADCP	Día	\$ 1 000 000	30	\$ 30 000 000
Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales	No de muestras	\$ 3 839 100	50	\$ 191 955 000
Análisis isotópicos	No de muestras	\$ 500 000	20	\$ 10 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 245 830 000</b>

#### 5. TALLERES Y SOCIALIZACIONES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Talleres	ud	\$ 3 000 000	6	\$ 18 000 000
Socializaciones	ud	\$ 3 000 000	6	\$ 18 000 000
Alquiler de vehículos con conductor	día	\$ 400 000	15	\$ 6 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 42 000 000</b>

#### 6. VISITAS TÉCNICAS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Alimentación	ud	\$ 220 000	60	\$ 13 200 000
Transporte	ud	\$ 1 000 000	60	\$ 60 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 73 200 000</b>

<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2 226 760 000</b>
<b>ADMINISTRACIÓN (11%)</b>	<b>\$ 275 217 528</b>
<b>TOTAL (COP)</b>	<b>\$ 2 501 977 528</b>





### 5.2.3 Escenario 3 modelación de la cuenca del río La Vieja

En este escenario se plantean desarrollar los modelamientos ecohidrológicos en la cuenca del río La Vieja de acuerdo a la información disponible. El equipo de trabajo está compuesto por 10 personas y el tiempo de ejecución es de 12 meses. La cantidad de muestreos está definida de acuerdo con la experiencia del consultor, está en función del área de estudio y la complejidad de la conectividad hídrica.



Figura 43 Organigrama equipo de trabajo para la ejecución de la cuenca del Río La Vieja

Tabla 23 Presupuesto Escenario 3c: Modelación de la cuenca del río La Vieja en esquema de consultoría

PRESUPUESTO PROYECTO C. LA VIEJA Y ESQUEMA DE CONTRATACIÓN DE CONSULTORIA				
1. TALENTO HUMANO				
DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	CANTIDAD DE PERSONAS POR ACTIVIDAD	VALOR HOMBRE/MES SEGÚN CATEGORIA	No DE MESES	COSTO (\$) TOTAL HOMBRES EN EL PROYECTO
Director del proyecto	1	\$ 8 000 000	12	\$ 96 000 000





Coordinador Técnico	1	\$ 7 000 000	12	\$ 84 000 000
Coordinador Hidrología	1	\$ 6 000 000	12	\$ 72 000 000
Coordinador Hidrodinámica	0	\$ -	0	\$ -
Coordinador Ecología	1	\$ 6 000 000	12	\$ 72 000 000
Coordinador Social	1	\$ 6 000 000	6	\$ 36 000 000
Especialista en Suelos y Geomorfología	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en SIG	1	\$ 5 000 000	12	\$ 60 000 000
Especialista en Hidrología	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Hidrodinámica	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Limnología	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Ictiología	1	\$ 4 000 000	6	\$ 24 000 000
Especialista en Ecología Acuática	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Botánica	0	\$ -	0	\$ -
Modelador Hidrólogo	0	\$ -	0	\$ -
Modelador Hidráulico	0	\$ -	0	\$ -
Profesional Social-Ecológico	1	\$ 3 000 000	6	\$ 18 000 000
Ingeniero Auxiliar	0	\$ -	0	\$ -
Auxiliar en Ecología	0	\$ -	0	\$ -
Líder comunitario	1	\$ 1 000 000	12	\$ 12 000 000
Auxiliar Social	0	\$ -	0	\$ -
Asistente administrativo	1	\$ 2 000 000	12	\$ 24 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 498 000 000</b>

2. EQUIPOS Y SOFTWARE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Licencia de Programas Computacionales Especiales	Ud	\$ -	1	\$ -
Computador para la realización de los análisis	Ud	\$ -	1	\$ -
Laptop para visitas de campo	Ud	\$ 2 500 000	0	\$ -
Impresora	Ud	\$ 1 500 000	0	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ -</b>

3. MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)





Fotocopias a color de expedientes	Ud	\$ 150	100	\$ 15 000
Escáner de documentos	Ud	\$ 3 000	100	\$ 300 000
Fotoplanos- Copiado de gran formato en laser en papel Bond en tamaño pliego (600 x 900) en B/N.	Ud	\$ 20 000	30	\$ 600 000
Bibliografía	Ud	\$ 500 000	2	\$ 1 000 000
Mapas, documentos, información gráfica	Ud	\$ 150 000	30	\$ 4 500 000
Ploteo de planos disponibles de estudios anteriores. En Papel Bond tamaño pliego (600 x 900 mm) a color que permitan realizar el análisis de las variables geoespaciales,	Ud	\$ 10 000	30	\$ 300 000
Impresiones	Ud	\$ 500	500	\$ 250 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 6 715 000</b>

#### 4. MONITOREO Y ENSAYOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Topografía: Incluye estación, nivel, teodolito y elementos complementarios	Día	\$ 300 000	0	\$ -
GPS de alta precisión	Día	\$ 162 500	0	\$ -
Batimetría tipo ADCP	Día	\$ 1 000 000	0	\$ -
Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales	No de muestras	\$ 3 839 100	0	\$ -
Análisis isotópicos	No de muestras	\$ 500 000	10	\$ 5 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 5 000 000</b>

#### 5. TALLERES Y SOCIALIZACIONES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Talleres	ud	\$ 3 000 000	4	\$ 12 000 000
Socializaciones	ud	\$ 3 000 000	4	\$ 12 000 000
Alquiler de vehículos con conductor	día	\$ 400 000	5	\$ 2 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 26 000 000</b>

#### 6. VISITAS TÉCNICAS





DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Alimentación	ud	\$ 220 000	6	\$ 1 320 000
Transporte	ud	\$ 1 000 000	6	\$ 6 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 7 320 000</b>

<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 543 035 000</b>
<b>ADMINISTRACIÓN (30%)</b>	<b>\$ 232 729 286</b>
<b>TOTAL (COP)</b>	<b>\$ 775 764 286</b>

**Tabla 24 Presupuesto Escenario 3i: Modelación de la cuenca del río La Vieja en esquema de investigación**

**PRESUPUESTO PROYECTO C. LA VIEJA Y ESQUEMA DE CONTRATACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

1. TALENTO HUMANO				
DESCRIPCIÓN FUNCIONAL	CANTIDAD DE PERSONAS POR ACTIVIDAD	VALOR HOMBRE/MES SEGÚN CATEGORÍA	No DE MESES	COSTO (\$) TOTAL HOMBRES EN EL PROYECTO
Director del proyecto	1	\$ 6 500 000	12	\$ 78 000 000
Coordinador Técnico	1	\$ 6 000 000	12	\$ 72 000 000
Coordinador Hidrología	1	\$ 6 000 000	12	\$ 72 000 000
Coordinador Hidrodinámica	0	\$ -	0	\$ -
Coordinador Ecología	1	\$ 6 000 000	12	\$ 72 000 000
Coordinador Social	1	\$ 6 000 000	6	\$ 36 000 000
Especialista en Suelos y Geomorfología	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en SIG	1	\$ 4 000 000	12	\$ 48 000 000
Especialista en Hidrología	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Hidrodinámica	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Limnología	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Ictiología	1	\$ 4 000 000	6	\$ 24 000 000
Especialista en Ecología Acuática	0	\$ -	0	\$ -
Especialista en Botánica	0	\$ -	0	\$ -
Modelador Hidrólogo	0	\$ -	0	\$ -





Modelador Hidráulico	0	\$ -	0	\$ -
Profesional Social-Ecológico	1	\$ 3 000 000	12	\$ 36 000 000
Ingeniero Auxiliar	0	\$ -	0	\$ -
Auxiliar en Ecología	0	\$ -	0	\$ -
Líder comunitario	1	\$ 1 000 000	12	\$ 12 000 000
Auxiliar Social	0	\$ -	0	\$ -
Asistente administrativo	1	\$ 2 000 000	12	\$ 24 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 474 000 000</b>

<b>2. EQUIPOS Y SOFTWARE</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Licencia de Programas Computacionales Especiales	Ud	\$ -	1	\$ -
Computador para la realización de los análisis	Ud	\$ -	1	\$ -
Laptop para visitas de campo	Ud	\$ 2 500 000	0	\$ -
Impresora	Ud	\$ 1 500 000	0	\$ -
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ -</b>

<b>3. MATERIALES, INSUMOS Y DOCUMENTACIÓN</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Fotocopias a color de expedientes	Ud	\$ 150	100	\$ 15 000
Escáner de documentos	Ud	\$ 3 000	100	\$ 300 000
Fotoplanos- Copiado de gran formato en laser en papel Bond en tamaño pliego (600 x 900) en B/N.	Ud	\$ 20 000	30	\$ 600 000
Bibliografía	Ud	\$ 500 000	2	\$ 1 000 000
Mapas, documentos, información gráfica	Ud	\$ 150 000	30	\$ 4 500 000
Ploteo de planos disponibles de estudios anteriores. En Papel Bond tamaño pliego (600 x 900 mm) a color que permitan realizar el análisis de las variables geoespaciales,	Ud	\$ 10 000	30	\$ 300 000
Impresiones	Ud	\$ 500	500	\$ 250 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 6 715 000</b>





4. MONITOREO Y ENSAYOS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Topografía: Incluye estación, nivel, teodolito y elementos complementarios	Día	\$ 300 000	0	\$ -
GPS de alta precisión	Día	\$ 162 500	0	\$ -
Batimetría tipo ADCP	Día	\$ 1 000 000	0	\$ -
Campaña de recolección de muestras de calidad de agua superficial, subsuperficial y manantiales	No de muestras	\$ 3 839 100	0	\$ -
Análisis isotópicos	No de muestras	\$ 500 000	10	\$ 5 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 5 000 000</b>

5. TALLERES Y SOCIALIZACIONES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Talleres	ud	\$ 3 000 000	5	\$ 15 000 000
Socializaciones	ud	\$ 3 000 000	5	\$ 15 000 000
Alquiler de vehículos con conductor	día	\$ 400 000	5	\$ 2 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 32 000 000</b>

6. VISITAS TÉCNICAS				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	CANTIDAD	COSTO TOTAL PARA EL PROYECTO (\$)
Alimentación	ud	\$ 220 000	6	\$ 1 320 000
Transporte	ud	\$ 1 000 000	6	\$ 6 000 000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 7 320 000</b>

<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 525 035 000</b>
<b>ADMINISTRACIÓN (11%)</b>	<b>\$ 64 891 966</b>
<b>TOTAL (COP)</b>	<b>\$ 589 926 966</b>





**Tabla 25 Resumen de escenarios presupuestales sin aporte en monitoreo IDEAM ni costos de Lineamientos y Tránsito de Conocimiento**

ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 890 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 68 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 376 057 500
6	Gastos de Viaje	\$ 97 600 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Tránsito de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 459 102 500
9	Administrativos	\$ 1 053 901 071
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 3 513 003 571</b>

ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 773 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y doc.	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 68 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 376 057 500
6	Gastos de Viaje	\$ 97 600 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Tránsito de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 342 102 500
9	Administrativos	\$ 289 473 343
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 2 631 575 843</b>





ZAPATOSA + AYAPEL (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 872 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 42 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 245 830 000
6	Gastos de Viaje	\$ 73 200 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 260 475 000
9	Administrativos	\$ 968 775 000
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 3 229 250 000</b>

ZAPATOSA + AYAPEL (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 845 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y doc.	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 42 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 245 830 000
6	Gastos de Viaje	\$ 73 200 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 233 475 000
9	Administrativos	\$ 276 047 472
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 2 509 522 472</b>



LA VIEJA (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 498 000 000
2	Equipos y software	\$ -
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 8 255 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 32 400 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 5 000 000
6	Gastos de Viaje	\$ 32 400 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 576 055 000</b>
9	Administrativos	\$ 236 132 143
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 812 187 143</b>

LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 474 000 000
2	Equipos y software	\$ -
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 8 255 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 32 400 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 5 000 000
6	Gastos de Viaje	\$ 32 400 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 552 055 000</b>
9	Administrativos	\$ 65 131 742
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 617 186 742</b>



**Tabla 26 Resumen de escenarios presupuestales con aporte en monitoreo IDEAM no incluye costos de Lineamientos y Tránsito de Conocimiento**

ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 890 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 68 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 206 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 97 600 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Tránsito de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 290 000 000
9	Administrativos	\$ 1 000 232 143
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 3 334 107 143</b>

ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 773 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y doc.	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 68 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 206 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 97 600 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Tránsito de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 173 000 000
9	Administrativos	\$ 273 995 787
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 2 490 870 787</b>





ZAPATOSA + AYAPEL (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 872 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 18 230 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 42 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 201 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 73 200 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2 209 885 000</b>
9	Administrativos	\$ 965 897 143
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 3 219 657 143</b>

ZAPATOSA + AYAPEL (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 845 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y doc.	\$ 18 230 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 42 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 201 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 73 200 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2 182 885 000</b>
9	Administrativos	\$ 275 217 528
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 2 501 977 528</b>



LA VIEJA (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 498 000 000
2	Equipos y software	\$ -
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 6 715 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 26 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 5 000 000
6	Gastos de Viaje	\$ 26 000 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 561 715 000</b>
9	Administrativos	\$ 232 729 286
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 794 444 286</b>

LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 474 000 000
2	Equipos y software	\$ -
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 6 715 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 32 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 5 000 000
6	Gastos de Viaje	\$ 32 000 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 549 715 000</b>
9	Administrativos	\$ 64 891 966
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 614 606 966</b>



**Tabla 27 Resumen de escenarios presupuestales con aporte en monitoreo IDEAM e incluye costos de Lineamientos y Tránsito de Conocimiento**

ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 890 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 68 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 206 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 97 600 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	<i>\$ 230 000 000</i>
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	<i>\$ 131 000 000</i>
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2 290 000 000</b>
9	Administrativos	\$ 1 000 232 143
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 3 334 107 143</b>

ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 773 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y doc.	\$ 24 945 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 68 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 206 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 97 600 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	<i>\$ 207 000 000</i>
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	<i>\$ 117 900 000</i>
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 2 173 000 000</b>
9	Administrativos	\$ 273 995 787
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 2 490 870 787</b>



ZAPATOSA + AYAPEL (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 872 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 18 230 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 42 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 201 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 73 200 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	\$ 154 000 000
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	\$ 88 000 000
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 209 885 000
9	Administrativos	\$ 965 897 143
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 3 219 657 143</b>

ZAPATOSA + AYAPEL (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 1 845 000 000
2	Equipos y software	\$ 2 500 000
3	Materiales, insumos y doc.	\$ 18 230 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 42 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 201 955 000
6	Gastos de Viaje	\$ 73 200 000
7	<i>Lineamientos de uso, manejo y conservación</i>	\$ 138 600 000
8	<i>Trasferencia de conocimiento</i>	\$ 79 200 000
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 2 182 885 000
9	Administrativos	\$ 275 217 528
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>		<b>\$ 2 501 977 528</b>



LA VIEJA (CONSULTORÍA)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 498 000 000
2	Equipos y software	\$ -
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 6 715 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 26 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 5 000 000
6	Gastos de Viaje	\$ 26 000 000
7	Lineamientos de uso, manejo y conservación	\$ 77 000 000
8	Trasferencia de conocimiento	\$ 44 000 000
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 561 715 000</b>
9	Administrativos	\$ 232 729 286
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 794 444 286</b>

LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)		
Item	Rubro	Vr. Total
1	Talento humano	\$ 474 000 000
2	Equipos y software	\$ -
3	Materiales, insumos y documentación	\$ 6 715 000
4	Talleres y socializaciones	\$ 32 000 000
5	Monitoreo y Ensayos	\$ 5 000 000
6	Gastos de Viaje	\$ 32 000 000
7	Lineamientos de uso, manejo y conservación	\$ 69 300 000
8	Trasferencia de conocimiento	\$ 39 600 000
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 549 715 000</b>
9	Administrativos	\$ 64 891 966
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 614 606 966</b>



## 6 ESPECIFICACIONES PARA EL EQUIPO DE TRABAJO

De acuerdo con los requerimientos de la modelación, se establecen los siguientes perfiles específicos de los profesionales que se requieren para la ejecución de la propuesta.

CARGO	PERFIL
<b>DIRECTOR CIENTÍFICO</b>	Profesional en Ingeniería civil, ambiental y sanitaria, naval, industrial, agrícola o en áreas afines a las ciencias de la tierra. Maestría en geografía, ingeniería civil, hidrosistemas, hidroinformática, recursos hidráulicos, hidrología, recurso hídrico y ambiental, ciencias hidrológicas o afines a la modelación hidrológica o SIG. Doctorado en hidrología, geociencias, hidrogeología o afines a las ciencias de la tierra. Experiencia general mayor a 15 años. Experiencia como director de proyecto o investigador principal en al menos dos proyectos en modelamiento computacional y matemático y/o gestión del recurso hídrico; experiencia mayor de 5 años en la dirección de proyectos de consultoría con el sector privado y público en el manejo, aprovechamiento y conservación de recursos hídrico superficial y subterráneo. Con experiencia en por lo menos un proyecto en ecohidrología o publicaciones al respecto. Experiencia docente mayor a 8 años. Con por lo menos 5 publicaciones en modelación matemática y computacional del recurso hídrico. Investigador <b>Senior en Colciencias</b> .
<b>COORDINADOR TECNICO DEL PROYECTO</b>	Profesional en ingeniería industrial, civil o agrícola. Con Maestría en ingeniería civil, recursos hidráulicos, recurso hídrico y ambiental hidrosistemas, conservación de aguas y suelos o afines. Experiencia general mayor a 8 años. Con experiencia en la coordinación de proyectos o líneas de componente hidrológico o hidráulico. Con experiencia específica mayor de 4 años en proyectos de investigación o consultoría en modelación matemática y computacional hidrológica e hidráulica. Experiencia como asesor o profesional técnico en por lo menos un proyecto en ecohidrología. Participación como profesional experto en por lo menos dos proyectos de carácter nacional relacionado con la gestión, manejo, conservación o aprovechamiento del recurso hídrico. Contar con por lo menos una publicación en modelación hidrológica o hidráulica. Con conocimientos avanzados en modelación hidráulica, SIG y geoprocésamiento.
<b>Especialista en geomática o SIG</b>	Profesional en Ingeniería catastral y geodesta, agrícola, forestal, ambiental y sanitaria, o en áreas afines a las ciencias naturales o de la tierra. Posgrado en geografía, geomática, hidrosistemas, hidroinformática, recursos hidráulicos, hidrología, o sistemas de información geográfica (SIG). Experiencia general mayor a 5 años. Experiencia específica mayor a 5 años en proyectos de gestión de recurso hídrico, modelación hidrológica o hidráulica y análisis de





CARGO	PERFIL
	coberturas de la tierra. Participación en por lo menos 2 proyectos que involucran las temáticas de análisis del paisaje, cambio de coberturas y uso de la tierra, interpretación y análisis de imágenes de satélite y/o fotografías aéreas. Con experiencia mayor a 2 años en consultorías de planes de manejo de cuencas u ordenamiento territorial.
<b>Coordinador en Ecohidráulica</b>	Profesional en ingeniería agrícola, civil, industrial, ambiental y sanitaria o ciencias afines. Maestría en recursos hidráulicos, hidrosistemas, hidrología, recurso hídrico y ambiental, ciencias naturales o de la tierra y afines. Doctorado en ciencias, hidrología, geo-ciencias, hidrogeología o afines a las ciencias de la tierra. Experiencia general mayor a 10 años. Experiencia específica mayor a 5 años en gestión integral del recurso hídrico, adaptación al cambio climático y modelación hidráulica e hidrológica. Experiencia en la coordinación de por lo menos 3 proyectos asociados a la conservación, riesgo o aprovechamiento del recurso hídrico superficial y subterráneo. Con experiencia en por lo menos un proyecto en modelación de ecosistemas lenticos. Profesional experto en la ejecución de planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas, planes de ordenamiento territorial, planes de gestión del riesgo o caracterización hidrológica. Con conocimientos avanzados en modelación hidráulica, manejo de software HEC, WaterCAD, WaterGEMS, IDRISI, SOBEK y programación IDL. Cuenta con más de 5 publicaciones en el campo de la hidrología e hidráulica.
<b>Coordinador Ecología</b>	Profesional en ecología, biología o ciencias naturales o de la tierra afines. Posgrado en gestión integral y ordenamiento de cuencas hidrográficas, geografía, ciencias naturales aplicadas, conservación, geomática o restauración ecológica. Experiencia general mayor a 8 años. Con experiencia en la coordinación general de por lo menos 4 proyectos de investigación o consultoría en biodiversidad, ordenamiento territorial y recurso hídrico. Experiencia específica en por lo menos 2 proyectos en restauración de cuerpos de agua superficial y ecosistemas acuáticos asociados. Cuenta con experiencia en por lo menos un proyecto relacionado con servicios ecosistémicos y biodiversidad. Cuenta con conocimientos avanzados en metodologías participativas sociales y resolución de conflictos. Con conocimientos y manejo de software para el procesamiento estadístico de datos ecológicos como R, Biodiversity pro, Statists, Past, Excel. Manejo de software geográfico y de análisis del paisaje como ArcGIS, ERDAS IMAGINE, Kyplot, FRAGTAST. Con experiencia en la gestión, formulación y ejecución de proyectos ambientales y productivos para el sector público. Contar con por lo menos una publicación en biodiversidad. Experiencia docente de por lo menos 1 año.
<b>Coordinador en ecohidrología</b>	Profesional en ingeniería civil, agrícola, geográfica, Ambiental y sanitario, naval o ciencias afines. Maestría en hidrología, geografía, hidrosistemas, o recursos hidráulicos o recurso hídrico y ambiental. Con experiencia general mayor a 10 años. Experiencia específica mayor a 8 años en gestión integral del recurso hídrico o modelación hidrológica de cuencas. Con experiencia en la coordinación en por lo menos 4 proyectos de modelación matemática hidroclimatológica o modelación hidrológica e





CARGO	PERFIL
	hidráulica. Profesional experto en la ejecución de planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas, reglamentación de corrientes o caracterización hidrológica. Con conocimientos avanzados en modelación hidráulica, manejo de software HEC, WaterCAD, WaterGEMS, IDRISI, SOBEK y programación IDL. Con conocimientos avanzados de SIG y geoprocresamiento y manejo de software ArcGIS, ERDAS. Tener por lo menos una publicación en gestión del recurso hídrico.
<b>Coordinador social</b>	Profesional antropólogo, sociólogo, Psicólogo, Administrador ambiental o ciencias afines a las ciencias sociales. Posgrado en geografía humana, planeación para el desarrollo, sociología, gobierno municipal. Con experiencia general mayor a 8 años. Experiencia específica mayor de 4 años en procesos de concertación, seguimiento, evaluación y control técnico a proyectos de inversión en los sectores sociales y de población vulnerable, estudios de impacto ambiental componente socioeconómico y diagnósticos situacionales. Experiencia en coordinación técnica en por lo menos tres proyectos sociales. Con experiencia en por lo menos dos proyectos en fortalecimiento de organizaciones de base o coordinación, caracterización sociocultural. Con experiencia en formulación, gestión y proyectos de planificación territorial, componente socioeconómico para sector público o privado. Con conocimientos en resolución de conflictos, diseño e implementación de protocolos de relacionamiento y acuerdos humanitarios. Por lo menos una publicación sobre conflictos sociales y territoriales.
<b>Especialista en Limnología</b>	Biólogo, ecólogo, agrónomo, ingeniero ambiental y sanitario o ciencias ambientales o naturales afines. Maestría o posgrado en ecología, ciencias naturales, ciencias biológicas, conservación de la biodiversidad, biología, ecología acuática. Con experiencia general mayor a 5 años. Experiencia específica en por lo menos 3 proyectos de investigación o consultaría en limnología, ecosistemas acuáticos o caracterización de fauna acuática como macro invertebrados, peces, perifiton o zooplancton. Con experiencia en por lo menos un proyecto de investigación en interacciones tróficas en ecosistemas loticos o restauración ecológica de ecosistemas acuáticos. Con conocimientos y manejo de software para el procesamiento estadístico de datos ecológicos como R, Biodiversity pro, Estatists, Past, Excel. Con conocimientos básicos de Matlab y software de procesamiento hidrológico. Experiencia de por lo menos un proyecto en ecosistemas acuáticos lenticos. Con por lo menos una publicación sobre biología o ecología de fauna acuática. Experiencia docente de por lo menos 1 año.
<b>Especialista en Ictiología</b>	Biólogo, ecólogo, agrónomo. Ingeniero pesquero, ambiental y sanitario o ciencias ambientales o naturales afines. Con maestría o doctorado en ciencias biológicas, gestión ambiental, hidrosistemas, recursos hídricos, biología, ecología, conservación, ictiología o ciencias naturales. Con experiencia general mayor a 5 años. Con experiencia específica mínima de 4 años en inventarios biológicos o de biodiversidad, muestreo con diferentes artes de pesca y experiencia en taxonomía de peces. Con conocimiento avanzados en ecología, ecosistemas acuáticos, insectos acuáticos y reproducción de peces, limnología. Experiencia en





CARGO	PERFIL
	<p>coordinación y/o participación en proyectos de investigación y/o consultaría en biodiversidad con énfasis en caracterización de fauna íctica. Experiencia de por lo menos un proyecto en ecosistemas acuáticos lenticos. Con alguna experiencia en el manejo de comunidades. Con conocimientos y manejo de software para el procesamiento estadístico de datos ecológicos como R, Biodiversity pro, Estatists, Past, Excel. Con por lo menos dos publicaciones sobre biología o ecología de fauna acuática. Experiencia docente de por lo menos 1 año.</p>
<b>Especialista en Suelos y Geomorfología</b>	<p>Geólogo, geógrafo o afines a ciencias de la tierra. Biólogo, ecólogo o afines a ciencias naturales. Maestría o posgrado en geotecnia, geomorfología, geología, geomática. Con experiencia general mayor a 10 años. Experiencia específica mayor a 4 años, consistente en la coordinación y/o participación en proyectos tendientes a la producción de cartografía geomorfológica y/o geológica, con experiencia mayor a dos años en interpretación de imágenes de satélite y/o fotointerpretación de aerofotografías. Con experiencia en consultoría de POMCAS.</p>
<b>Especialista en Ecología acuática</b>	<p>Profesional en biología, ecología y/o ciencias naturales afines. Maestría o Doctorado en limnología, biología, ecología de ecosistemas acuáticos, conservación de la biodiversidad, en ciencias biológicas o ecología aplicada. Experiencia general mayor a 8 años. Experiencia específica mayor a 5 años en proyectos de investigación y consultoría en caracterización de comunidades Fitoplanctónicas y producción primaria o en interacciones tróficas en ecosistemas loticos. Con experiencia demostrable en el muestreo y caracterización biofísicoquímica del agua y de la fauna del agua, estudio y análisis de biodiversidad de ecosistemas acuáticos lenticos o loticos o estudios limnológicos. Experiencia en por lo menos 4 proyectos de investigación en ecosistemas lenticos. Conocimientos avanzados en diversidad funcional en ecosistemas acuáticos. Con conocimientos y manejo de software para el procesamiento estadístico de datos ecológicos como R, Biodiversity pro, Estatists, Past, Excel. Con por lo menos 2 publicaciones sobre biología o ecología de la fauna asociada al sistemas acuáticos. Con experiencia docente mayor a tres años.</p>
<b>Especialista en Botánica</b>	<p>Profesional en biología, ecología y/o ciencias naturales afines. Con posgrado en ecología, ciencias naturales, biología, conservación o afines. Con experiencia general mayor a 8 años, experiencia específica mayor a 5 años en muestreos de vegetación, sistemática, taxonomía vegetal, relación planta-animal o proyectos en biodiversidad. Experiencia en por lo menos 2 proyectos de investigación en flora de ecosistemas lenticos y 2 en ecosistemas loticos. Con experiencia en diseño y montaje de arboretum y colecciones biológicas. Participación en proyectos de caracterización de la biodiversidad, salud ecosistémica y definición de ecosistemas estratégicos. Conocimientos básicos de ictiología y ornitología. Con conocimientos y manejo de software para el procesamiento estadístico de datos ecológicos como R, Biodiversity pro, Estatists, Past, Excel. Con por lo menos dos publicaciones sobre biología, ictiología, flora o vegetación de ecosistemas lenticos o loticos. Con experiencia docente mayor a tres años.</p>





CARGO	PERFIL
<b>Auxiliar en Ecología (ictiología y botánica)</b>	Profesional en Ecología, biología, agrónomo y/o ciencias naturales afines. Con posgrado en ecología, biología, conservación, hidrosistemas, ciencias naturales o afines. Con experiencia general de 4 años, Experiencia específica mayor a 3 años en muestreos de vegetación, caracterización de la biodiversidad, análisis ecológicos y estadísticos. Con conocimientos y experiencia en restauración ecológica. Con conocimiento básicos en software estadísticos y ecológicos.
<b>Especialista en hidrodinámica</b>	Profesional en ingeniería agrícola, civil, geográfica, ambiental y sanitaria o ciencias afines. Maestría en recursos hidráulicos, hidrosistemas, hidrología, recurso hídrico y ambiental, ciencias naturales o de la tierra y afines. Doctorado en ciencias, hidrología, geo-ciencias, hidrogeología o mecánica de fluidos ambiental. Experiencia general mayor a 8 años. Experiencia específica mayor a 5 años en modelación de flujos ambientales. Profesional experto en la manipulación de software libre, con altas habilidades en lenguajes de programación como Fortran, C, C++, Matlab. Con conocimiento alto en métodos numéricos. Con conocimientos avanzados en modelación hidrodinámica en software libre y comercial. Cuenta con más de 5 publicaciones en el campo de la hidrodinámica.
<b>Modelador Hidrólogo 1</b>	Profesional en Ingeniería civil, geográfica, ambiental y sanitaria, naval, industrial, agrícola o en áreas afines. Conocimientos avanzados de software como Matlab, R, Phytion, GRASS, QGIS, ArcGIS y modelación hidrológica. Experiencia específica de por lo menos 2 proyectos en modelación hidrológica, gestión del riesgo y manejo de sistemas de información geográfica. Profesional especialista en por lo menos un proyecto de modelación hidrológica en ecosistemas lenticos.
<b>Modelador Hidrólogo 2</b>	Profesional en Ingeniería civil, geográfica, ambiental y sanitaria, naval, industrial, agrícola o en áreas afines. Maestría en geografía, ingeniería civil, hidrosistemas, hidroinformática, recursos hidráulicos, hidrología, recurso hídrico y ambiental, ciencias hidrológicas o afines a la modelación hidrológica. Experiencia general mayor a dos años. Experiencia específica en por lo menos tres proyectos en hidráulica aplicada. Conocimientos avanzados de software como Matlab, HEC-RAS, EPANET, QGIS Y ArcGIS.
<b>Modelador Hidráulico 1</b>	Profesional en Ingeniería civil, geográfica, ambiental y sanitaria, naval, industrial, agrícola o en áreas afines. Maestría en geografía, ingeniería civil, hidrosistemas, hidroinformática, recursos hidráulicos, hidrología, recurso hídrico y ambiental, ciencias hidrológicas o afines a la modelación hidrológica. Con experiencia general mayor a 5 años. Experiencia específica mayor a tres años en proyectos de gestión del recurso hídrico, saneamiento ambiental o modelación numérica. Participación en por lo menos 2 proyectos en gestión del riesgo. Conocimientos avanzados de software como Matlab, HEC-RAS, TELEMAT, WEAP, OpenFOAM, WaterGEMS. Phytion. Destacadas habilidades en software libre y lenguajes de programación como Fortran, C, C++, Python. Experiencia en manipulación de software libre.





CARGO	PERFIL
<b>Modelador Hidráulico 2</b>	Profesional en Ingeniería civil, ambiental y sanitaria, naval, industrial, agrícola o en áreas afines. Maestría en geografía, ingeniería civil, hidrosistemas, hidroinformática, recursos hidráulicos, hidrología, recurso hídrico y ambiental, ciencias hidrológicas o afines a la modelación hidrológica. Experiencia general de 4 años. Experiencia en por lo menos dos proyectos relacionados con la modelación hidrogeológica o hidrológica. Conocimientos en captura y monitoreo de datos hidrometereologicos, hidráulica e hidrología básica. Conocimientos avanzados de software como Matlab, HEC-RAS, GMSH, EPANET, OpenFOAM. Por lo menos una publicación en modelación hidráulica o hidrológica. Destacadas habilidades en software libre y lenguajes de programación como Fortran, C, C++, Python. Experiencia en manipulación de software libre.
<b>Modelador Hidráulico 3</b>	Profesional en Ingeniería civil, ambiental y sanitaria, naval, industrial, agrícola o en áreas afines. Experiencia en por lo menos dos proyectos relacionados con la modelación hidrodinámica. Conocimientos en captura y monitoreo de datos hidrometereologicos e hidráulicos. Conocimientos avanzados de software como Matlab, HEC-RAS, GMSH, EPANET, OpenFOAM. Por lo menos una publicación en modelación hidrodinámica. Destacadas habilidades en software libre y lenguajes de programación como Fortran, C, C++, Python. Experiencia en manipulación de software libre.
<b>Profesional social-ecología</b>	Profesional antropólogo, sociólogo, administrador ambiental, Psicólogo o ciencias afines a las ciencias sociales, o ecólogo o biólogo. Con experiencia general mayor a 3 años. Experiencia específica mayor de 2 años en procesos de concertación, seguimiento, evaluación y control técnico a proyectos de inversión en los sectores sociales y de población vulnerable, estudios de impacto ambiental componente socioeconómico y diagnósticos situacionales. Con conocimientos en resolución de conflictos, diseño e implementación de protocolos de relacionamiento y acuerdos humanitarios. Experiencia en enfoque Socioecológico.





## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES GENERALES

El actual informe establece las bases metodológicas para promover, concebir y desarrollar artefactos de modelación que faciliten implementar y considera la Ecohidrología como paradigma de sostenibilidad hídrica y de salud de los ecosistemas acuícolas. Contempla entre otros aspectos recomendaciones y actividades para obtener en forma racional y sistemática los siguientes productos: (1) Inventario y análisis, sobre el estado actual del conocimiento relacionado con el modelamiento hidrológico, sedimentológico, climatológico, hidráulico, eco-sistémico y/o eco-hidrológico para la cuenca y/o hidrosistema de estudio; (2) Propuesta de la secuencia metodológica para desarrollar e implementar los modelos seleccionados; y (3) Propuesta sobre necesidades y actividades que permitan y/o promuevan la incorporación de los resultados de los modelamientos en los instrumentos de planificación y ordenamiento del territorio, del recurso hídrico, de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad relacionada. En este sentido, se incluyen las propuestas las rutas metodológicas y posibles costos que viabilizarán la capacitación formal y el entrenamiento de personal relacionado con las organizaciones e instituciones locales y regionales en el uso y aplicación de las herramientas de modelación para la gestión integral del recurso hídrico.

Resulta importante señalar que la revisión de la literatura realizado en la presente consultoría permite concluir que en Colombia –a excepción del ejercicio reportado para la CGSM- no existen ejercicios extensivos de modelación ecohidrológico (o ecohidráulica), resultando la actual propuesta metodológica un hito importante para promover este paradigma de sostenibilidad hídrica en nuestro medio.





## 7.2 CONCLUSIÓN RELACIONADA CON EL IMPACTO A LOS ACTORES DE LA POLÍTICA NACIONAL INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO.

Por el alcance y nivel de detalle de este documento, a este respecto se espera que este documento se convierta también en uno de los referentes no sólo para Colombia, sino para otros países principalmente de Latinoamérica y el Caribe, que tengan problemas similares al colombiano en cuanto a la salud de ecosistemas como humedales, ciénagas, embalses y cuencas y que también requieran un cambio de paradigma en la gestión integrada del recurso hídrico soportada en herramientas más robustas e integrales como las que ofrece el enfoque ecohidrológico y ecohidráulico aquí expuesto y desarrollado. En este contexto se espera que el IDEAM y particularmente el Centro Nacional de Modelación Hidroclimatológica (CNMH) una vez revisen y avalen las consideraciones y recomendaciones dadas, promueva este documento ante los demás actores del SINA como un referente para la promoción de la Ecohidrología, la Ecohidráulica, la Seguridad hídrica nacional y la salud de los ecosistemas acuícolas. De otra parte, se espera que la declaratoria de humedales y ciénagas sitios RAMSAR provea un marco de trabajo para el desarrollo de artefactos de modelación bajo el enfoque ecohidrológico y ecohidráulico como el que aquí se propone.

Se considera que es de especial interés el fortalecimiento del SIAC (es uno de los objetivos del desarrollo del Componente 3 del proyecto GEF-Magdalena), en esta actividad es adecuado integrar nuevos atributos de la información de carácter ecohidrológico - ecohidráulico de manera que desde el manejo de la información el usuario pueda acceder a este tipo de información, el repositorio debe entonces ser más versátil en la integración de los productos ejecutados por diferentes instituciones vinculadas Sistema. De igual modo, se debe verificar la funcionalidad y disponibilidad de la información para los usuarios. Esta recomendación se hace dado que se sugiere que el SIAC sea el repositorio final de los productos del modelamiento ecohidrológico.





Al reconocer que existe un escaso ejercicio de modelación ecohidrológica – ecohidráulica en el país, se debe contar con el apoyo institucional desde el MADS junto con las Corporaciones y demás instituciones vinculadas al SINA para implementar modelaciones de este tipo a diferentes escalas desde la regional a la local, dando también direccionamiento a las firmas consultoras en los procedimientos a seguir cuando se amerite la modelación de este tipo. Además, se debe contar con el componente investigativo de la Academia, que indique las tendencias y el adecuado uso de dichos modelos en Colombia. De esta forma se puede pensar en una construcción conjunta de una línea de trabajo en ecohidrológica – ecohidráulica en Colombia que favorezca el manejo y conservación de los ecosistemas acuáticos.

### 7.3 OTRAS CONCLUSIONES GENERALES

- El enfoque ecohidrológico que se propone como marco de trabajo para la estimación y promoción de la salud de los ecosistemas acuáticos no sólo contempla la ruta metodológica a implementar, sino también propone un marco de trabajo más amplio y robusto al considerar estos hidrosistemas como Superorganismos vivos estableciéndolos como grandes Sistemas Socioecológicos, que en esencia es lo que contempla la Ecohidrología al permitir la contribución, participación y visión de disciplinas como la Sociología, Antropología, y Economía, fuertemente articuladas con las Ciencias Naturales, Físicas y de Ingeniería. A nivel Colombia, se considera que la propuesta de modelación ecohidrológica – ecohidráulica mostrada en el presente documento es pionera, y ha sido diseñada de manera que sea de fácil replica y ajuste, así puede ser acogida por diferentes actores del sector ambiental. Esto se encuentra alineado con “un movimiento jurídico innovador en el ámbito judicial que cuenta con decisiones de mucha importancia que claramente inciden en las cuestiones propias del nexo agua-energía-alimentación y su base ambiental. En ese sentido, puede citarse la Sentencia “Mendoza” del año 2006 de la Corte Suprema de Justicia de Argentina (Martin, 2017), la Sentencia “Bogotá” de 2014 del Consejo de Estado de Colombia o la





Sentencia de la Corte Constitucional Colombiana de 10 de noviembre de 2016 por la que se reconoce personalidad jurídica al Río Atrato, fuertemente afectado por la actividad minera informal que ha afectado gravemente las posibilidades de proporcionar alimento a sus ribereños a través de la actividad pesquera como había sucedido tradicionalmente” (tomado de “Documento de trabajo de Lineamientos de políticas públicas Para un mejor manejo de las interrelaciones del nexo entre el agua, la energía y la alimentación, Antonio Embid & Liber Martin, promovido por la CEPAL, Chile, Mayo 2018”).

- La aproximación Hidroinformática también se incorpora en la propuesta metodológica que se presenta en el actual documento. Recuérdese que bajo este paradigma tecnológico se consideran tres tipos de modelos: (1) Modelación de tipo biogeofísica o de “caja blanca” en la cual se emplean los principios de la Física, Biología, Química y la Biología bajo un lenguaje matemático; (2) Modelación guiada por datos (“data-driven modeling”); y (3) Modelos basados en el conocimiento. La Hidroinformática considera disponer de diferentes tipos de modelos construidos y calibrados bajo estos tres enfoques, de tal forma que las decisiones que se toman se apoyen no sólo en una sola aproximación o modelo con estas herramientas, trasladando así la decisión final a la revisión de las salidas de estos modelos y de un adecuado análisis de incertidumbre de los mismos. Podría decirse que tras la revisión de la literatura, y del estado del arte que se provee en el actual informe nuestros ecosistemas no cuentan con herramientas o modelos construidos como “cajas blancas ecohidrológica” (tipología 1), sino más bien apoyados en las tipologías 2 y 3, que a su vez se sustentan exclusivamente en líneas bases y campañas de monitoreo sistemáticas que se generan anualmente por parte de las entidades pertinentes. Esto está bien y se recomienda seguir haciéndolo. No obstante, lo que también busca la actual propuesta es genera mayor valor agregado a estos datos obtenidos en campañas de monitoreo y de línea base, al avanzar hacia la construcción de modelos dinámicos de “caja blanca” que expliciten dinámicamente el comportamiento integrado de variables físicas, biológica, químicas como descriptores del comportamiento del sistema. Estos artefactos provistos de un buen análisis de incertidumbre no sólo permiten visiones de futuro y escenarios de comportamiento





(“what if”), sino también permiten mejorar los siguientes planes de monitoreo, de tal forma que tales planes se beneficien de estos modelos en la medida que estos últimos a su vez se retroalimenten de nuevos datos y mejoren su desempeño. Son varios los casos reportados en la literatura donde el modelo mismo con el tiempo ha reducido los gastos de campañas de instrumentación y monitoreo. Este enfoque es el que se propone en las tres primeras fases de la ruta metodológica del actual documento. Incluso se esperaría impactar el aparente “círculo vicioso” que pudiera existir, cuando se argumenta por algunos profesionales que “No se modela porque no existen los datos suficientes”, pero “cuando existen los recursos para instrumentar y monitorear, no se logra registrar en forma eficaz y eficiente, pues no se cuenta con análisis dinámicos de incertidumbre”. Si este círculo existiere, se trata entonces de romperlo con la ruta metodológica propuesta, convirtiendo el binomio modelo-artefacto/monitoreo en un “**círculo virtuoso**” útil para soportar la toma de decisiones.

- El binomio modelo/dato que se expuso anteriormente se considera como esquema de trabajo útil para impactar favorablemente el Plan Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, el Sistema de Información Nacional del Recurso Hídricos (SIRH) y el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Esta visión es contemplada desde la concepción de todo el proyecto y se espera que los resultados de los ejercicios de modelación y monitoreo ecohidráulico, no sólo permitan lineamientos y recomendaciones para la incorporación de los resultados en los instrumentos de ordenación del recurso hídrico y del territorio, sino también permitan revisar las estructuras y plataformas tecnológicas de estos grandes sistemas de información.
- El desarrollo de proyectos que contemplen ejercicios de modelación ecohidrológica y ecohidráulica como los contemplados aquí para la Cuenca del Río La Vieja y las Ciénagas de Ayapel y Zapatosa, deberán proveer evidencia empírica de la viabilidad y ventajas de los mismos en el marco de la concepción, desarrollo, implementación y evaluación de acciones y estrategias de planes, programas y proyectos de manejo ambiental, de ordenamiento y seguridad hídrica. Incluso como valor agregado deberá contribuir a la consolidación del Comité Nacional Colombiano para el Programa Hidrológico Internacional (**CONAPHI**) que lidera el IDEAM bajo las orientaciones y





acompañamiento de la UNESCO y su respectivo Programa Hidrológico Internacional el cual explícitamente involucra a la Ecohidrología como un eje articulador de la Seguridad Hídrica. Se resalta que el esquema de modelación propuesto para el caso de la Ciénagas de Zapatosa, siendo el que considera el desarrollo de todas las fases en forma completa, podría convertirse así en el Proyecto Piloto de Modelación Ecohidráulica para el medio colombiano.

- Respecto a la comparación de la presente consultoría con la realizada por el ingeniero Jaime Moreno en 2015 se presenta la siguiente tabla resumen:

	<b>Moreno (2015)</b>	<b>Obregón (2018)</b>
<b>Selección de sitios</b>	Ciénaga de Ayapel, Ciénaga de Zapatosa y Cuenca del río La Vieja	Se acogieron los mismos sitios recomendados por Moreno en 2015
<b>Rutas metodológicas</b>	Se plantean 3 fases	Se plantean 5 fases, aunque se parecen a las indicadas por Moreno.
<b>Enfoque</b>	Se habla de las relaciones hidrodinámicas con la salud de los ecosistemas con un enfoque ecohidrológico	Se habla de un enfoque ecohidrológico – ecohidráulico, detallando el alcance para cada uno de los sitios. Se basa la modelación en la conceptualización de enfoque socioecológico.
<b>Protocolos de modelación</b>	Son similares en las dos propuestas	
<b>Duración</b>	1. Integración y construcción de conocimiento (3 años)	La propuesta detalla más los tiempos de manera que se comprendan en 18 meses





	<p>2. Incorporación de las medidas a los elementos normativos (1 año)</p> <p>3. Transferencia y gestión de conocimiento (1 año)</p>	<p>para la modelación, pero se considera que lo avanzado en la etapa de preliminares contribuye a la construcción del modelo conceptual de la fase de modelación.</p>																								
<p><b>Costos ejercicio de modelamiento</b></p>	<p>9.444.634 USD</p>	<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (CONSULTORÍA)</b></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>\$ 3 334 107 143 COL</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>ZAPATOSA + AYAPEL (CONSULTORÍA)</b></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>\$ 3 219 657 143 COL</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>LA VIEJA (CONSULTORÍA)</b></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>\$ 794 444 286 COL</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)</b></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>\$ 2 490 870 787 COL</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>ZAPATOSA + AYAPEL (INVESTIGACIÓN)</b></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>\$ 2 501 977 528 COL</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)</b></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>\$ 614 606 966 COL</td> </tr> </table>	<b>ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (CONSULTORÍA)</b>		TOTAL	\$ 3 334 107 143 COL	<b>ZAPATOSA + AYAPEL (CONSULTORÍA)</b>		TOTAL	\$ 3 219 657 143 COL	<b>LA VIEJA (CONSULTORÍA)</b>		TOTAL	\$ 794 444 286 COL	<b>ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)</b>		TOTAL	\$ 2 490 870 787 COL	<b>ZAPATOSA + AYAPEL (INVESTIGACIÓN)</b>		TOTAL	\$ 2 501 977 528 COL	<b>LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)</b>		TOTAL	\$ 614 606 966 COL
<b>ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (CONSULTORÍA)</b>																										
TOTAL	\$ 3 334 107 143 COL																									
<b>ZAPATOSA + AYAPEL (CONSULTORÍA)</b>																										
TOTAL	\$ 3 219 657 143 COL																									
<b>LA VIEJA (CONSULTORÍA)</b>																										
TOTAL	\$ 794 444 286 COL																									
<b>ZAPATOSA + AYAPEL + LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)</b>																										
TOTAL	\$ 2 490 870 787 COL																									
<b>ZAPATOSA + AYAPEL (INVESTIGACIÓN)</b>																										
TOTAL	\$ 2 501 977 528 COL																									
<b>LA VIEJA (INVESTIGACIÓN)</b>																										
TOTAL	\$ 614 606 966 COL																									

Las dos propuestas se parecen y tienen el mismo espíritu de conceptualización y enfoque, se considera que la presente propuesta estima el alcance de acuerdo con la información disponible y enfatiza en las relaciones hídricas con redes tróficas.

#### 7.4 RECOMENDACIONES

- Dado el rol de autoridad hidrológica y ambiental nacional que representa el IDEAM y los logros alcanzados por las diferentes subdirecciones y oficinas, así como la consolidación del Centro Nacional de Modelación Hidroclimatológica a cargo también del IDEAM, se recomienda que se adelante el estudio, discusión y análisis de la





propuesta metodológica aquí expuesta a fin que se cuente con el aval por parte de este actor y socio fundamental del Proyecto GEF-BID actualmente en desarrollo y relacionado con la salud de los ecosistemas dulceacuícolas.

- Se recomienda realizar una sesión de trabajo entre los autores de la actual consultoría, los supervisores técnicos de la Fundación Natura y los expertos técnicos de la Subdirección de Hidrología del IDEAM para discutir y decidir el mejor esquema de desarrollo de los ejercicios de modelación aquí propuestos, de tal forma que se procure impactar favorablemente y avanzar hacia la consolidación y promoción del Centro Nacional de Modelación Hidroclimatológica. Al respecto se recomienda que el esquema de contratación sea acordado y definido por el IDEAM bajo esta motivación y se recomiende desde esta entidad de orden nacional hacia la Fundación Natura el mejor esquema de contratación.
- Las alternativas que fueron analizadas por la actual consultoría y se recomienda sean consideradas son en términos generales de dos tipos: (1) Proyecto de consultoría; y (2) Proyecto de Investigación. Al respecto se identifican las siguientes ventajas que permiten recomendar que se desarrolle bajo proyecto de investigación: (i) La construcción conceptual, matemática y computacional que demanda el enfoque integrado ec hidrológico y ec hidrúlico no representa un enfoque para las firmas de consultoría, sino más bien se identifican fortalezas y capacidades en Institutos, Centros de Investigación, Universidades e Instituciones de Educación Superior (IES) Colombianas. (ii) Los procesos de capacitación y transferencia tecnológica que se han establecido desde los ejecutores hacia los actores nacionales y regionales, se facilita más desde este tipo de entes, no sólo por las “facilities”, sino también por la experiencia en procesos didácticos de enseñanza/aprendizaje. (iii) Estos posibles ejecutores que pueden desarrollar los ejercicios de modelación propuestos bajo proyectos de investigación, no sólo agregan las ventajas que se desprenden de la tipología, sino también permiten incorporar contrapartidas de recursos representados en tiempo de trabajo de profesores investigadores, así como de recursos, maquinaria y equipo para ampliar las capacidades de monitoreo que se han contemplado en las fases de la propuesta metodológica. (iv) También se proyecta mayor facilidad en las acciones y





estrategias de divulgación ante la comunidad científica y de potenciales usuarios a través de ponencias, cartillas, artículos, guías, entre otros.

- Además de la tipología de proyecto de consultoría o de investigación, también se analizan dos esquemas para la ejecución: (1) Un solo ejecutor, quien desarrollaría los ejercicios de modelación para los tres sitios de estudio; o (2) Dos ejecutores: uno que se encargue de la modelación propuesta para la cuenca del Río La Vieja y otro que se encargue de la modelación propuesta para las dos ciénagas. Los dos escenarios son viables y acertados, para lo cual se recomienda incorporar en la selección final las ventajas desde economía de escala que podría representar el primer escenario.
- En cualquier instancia, se recomienda al IDEAM en su respectivo análisis que identifique los actores claves potenciales para ejecutar estos ejercicios de modelación de tal forma que logre en trabajo conjunto con el IDEAM potenciarse el Centro Nacional de Modelación. No sólo desde una participación en las campañas de monitoreo, sino también en un constante acompañamiento técnico y científico entre las partes involucradas. Al respecto se recomienda revisar capacidades, trabajos previos en modelamiento y convenios explícitos de cooperación ya existentes entre el IDEAM y estos entes de carácter académico, que pudieran facilitar el esquema de desarrollo que se decida implementar.
- Se recomienda que en los acuerdos firmados entre la Fundación Natura y los seleccionados para llevar a cabo la modelación aquí propuesta, se incorpore un producto que evidencie la gestión de recursos adicionales que mejoren la fase de monitoreo. Una estrategia podría ser la concepción, escritura y sometimiento de propuestas de proyectos antes convocatorias o entidades de orden nacional y/o internacional.
- Promover los ejercicios de modelamiento que se proponen y desarrollen en el inmediato futuro como proyectos piloto de modelamiento ecohidrológico y ecohidráulico, tanto en eventos nacionales, como internacionales. Se enfatiza la divulgación a través del CONAPHI en Colombia y en general en el marco del PHI-UNESCO. En este mismo orden de ideas, se recomienda implementar mecanismos y estrategias de divulgación para los resultados y proyectos que se obtengan de los ejercicios de modelación.





## 8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS IMPORTANTES

- Alean, L. (2009). *Modelación de la capacidad máxima de asimilación de vertimientos de carga orgánica en la ciénaga de Mesolandia en el departamento del Atlántico*. Universidad Nacional de Colombia.
- Andina, O. (2008). PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL COMPLEJO CENAGOSO DE ZAPATOSA, EN LOS DEPARTAMENTOS DEL CESAR Y MAGDALENA.
- Bárcena, J. F., Gómez, A. G., García, A., Álvarez, C., & Juanes, J. A. (2017). Quantifying and mapping the vulnerability of estuaries to point-source pollution using a multi-metric assessment: The Estuarine Vulnerability Index (EVI). *Ecological Indicators*, 76, 159–169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.015>
- Barón, O. (2015). *MODELACIÓN MATEMÁTICA DE TRES POSIBLES ESCENARIOS DE OPERACIÓN DE UN EMBALSE Y SU EFECTO EN LA DINÁMICA HÍDRICA AGUAS ABAJO. CASO: HIDROSOGAMOSO Y LA COMUNIDAD DE PECES DE LA CIÉNAGA EL LLANITO (BARRANCABERMEJA, COLOMBIA)*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Bartram, J., & Ballance, R. (1996). *Monitoreo de la calidad del agua: una guía práctica para diseñar e implementar estudios y programas de monitoreo de la calidad de aguas dulces*. (J. Bartram & R. Ballance, Eds.).
- Boisclair, D. (2001). Fish habitat modeling: from conceptual framework to functional tools. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1), 1–9. <https://doi.org/10.1139/f00-251>
- CBD. (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation (Report of the Second Ad Hoc Technical expert Group on Biodiversity and Climate Change)*. Diversity.





CRQ, CARDER, CVC, UAESPNN, MAVDT, IDEAM, & GTZ. (2008). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río La Vieja*. Armenia.

CVS. (2007). *Plan de manejo ambiental del complejo de humedales de Ayapel*. Medellín: Grupo de Investigación en Gestión del Desarrollo Ambiental-GAIA, Corporación Académica Ambiental, Medellín, Universidad de Antioquia.

Domínguez, E. (2000). Protocolo para la modelación matemática de procesos hidrológicos. *Meteorología Colombiana*, 2(October 2000), 33–38.

Dudgeon, D. (2008). *Tropical stream ecology*. *Aquatic ecology series*. Retrieved from <http://site.ebrary.com/lib/auckland/Doc?id=10206118>

Elshehy, M., Khadr, M., Atta, Y., & Ahmed, A. (2016). Hydrodynamic and water quality modeling of Lake Manzala (Egypt) under data scarcity. *Environmental Earth Sciences*, 75(19), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6136-x>

EPA Science Advisory Board. (2009). *Valuing the Protection of Ecological Systems and Services*. Washington, D.C. Retrieved from [www.epa.gov/sab](http://www.epa.gov/sab)

Fleming, S. W., Wong, C., & Graham, G. (2014). The unbearable fuzziness of being sustainable: an integrated, fuzzy logic-based aquifer health index. *Hydrological Sciences Journal*, 59(6), 1154–1166. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.907496>

Francesconi, W., Srinivasan, R., Pérez-Miñana, E., Willcock, S. P., & Quintero, M. (2016). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: A systematic review. *Journal of Hydrology*, 535, 625–636. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.034>

Franco, C., Muñoz, A., Andrade, G., & Naranjo, L. (2010). Experiencias de adaptación al cambio climático en ecosistemas de montaña (páramos y bosques de niebla) en los Andes del Norte. In *Memorias del Taller Regional* (p. 182).





Garcia, E. S., Tague, C. L., & Choate, J. S. (2016). Uncertainty in carbon allocation strategy and ecophysiological parameterization influences on carbon and streamflow estimates for two western US forested watersheds. *Ecological Modelling*, 342, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.09.021>

Grey, D., & Sadoff, C. W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545–571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>

Huckelbridge, K. H., Stacey, M. T., Glenn, E. P., & Dracup, J. a. (2010). An integrated model for evaluating hydrology, hydrodynamics, salinity and vegetation cover in a coastal desert wetland. *Ecological Engineering*, 36(7), 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.03.001>

IAvH. (2015). *Colombia Anfibia. Un país de humedales*. (C. Jaramillo, U., Cortés-Duque, J. y Flórez, Ed.), *Colombia Anfibia. Un país de humedales* (Vol. 140). Bogotá, D. C.: .PUNTOAPARTE BOOKVERTISING Director.

IDEAM. (2007). PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA. Bogotá, D. C., Colombia: IDEAM.

IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua 2010. In *Estudio Nacional del Agua 2010*.

IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá, D. C., Colombia: Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. Retrieved from <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022654/022655.htm>

Invemar. (2016). *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta*.





Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in River- Floodplains system.

Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Lourival, R., Wittmann, F., Kandus, P., Lacerda, L. D., ... Agostinho, a. a. (2014). Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24(1), 5–22. <https://doi.org/10.1002/aqc.2386>

Lee, D. I., Choi, J. M., Lee, Y. G., Lee, M. O., Lee, W. C., & Kim, J. K. (2008). Coastal environmental assessment and management by ecological simulation in Yeosu Bay, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80(4), 495–508. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.08.022>

Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Developments in Environmental Modelling*. (P. Legendre & L. Legendre, Eds.) (3rd ed.). Academic Press, Elsevier.

MADS. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá, D. C., Colombia.

Marín, C. M. (2012). *Interacciones tróficas y productividad íctica en el sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba Colombia. Tesis doctoral*. Universidad de Antioquia.

MEA. (2005). *ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: WETLANDS AND WATER Synthesis*. Washington, D.C.

MINAMBIENTE. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Retrieved from [http://www.minambiente.gov.co/documentos/5774\\_240610\\_libro\\_pol\\_nal\\_rec\\_hidrico.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/5774_240610_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf)

MINAMBIENTE, MINHACIENDA, ADAPTACIÓN, F. DE, CVC, CRQ, CARDER, & Quíndio, C. P. (2006). CAPITULO IV ANÁLISIS SITUACIONAL INICIAL. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río La Vieja. In *Actualización POMCA Río La Vieja* (p. 104).

MINAMBIENTE, & PNUD. (2005). Quinto Informe Nacional de Biodiversidad de Colombia ante el





Convenio de Diversidad Biológica. Bogotá, D. C.

Moreno, J. (2015). *Documento del Banco Interamericano de Desarrollo. COMPONENTE II - GESTIÓN DE LA SALUD DE LOS ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE PROYECTO*. Bogotá, D. C., Colombia.

Munera, J., Velez, J., Poveda, G., Posada, E., Cardona, Y., & Montoya, J. (2003). *Dinámica hidrológica de la Ciénaga Grande de Santa Marta. TALLER DE CIENCIAS DEL MAR*.

Neiff, J. J. (1990). IDEAS PARA LA INTERPRETACIÓN ECOLÓGICA DEL PARANÁ. *Interciencia*, 15(6), 424–441.

Obregón, N. (2018). Seminario Taller de Investigación II “Modelamiento con sistemas inteligentes en Hidroinformática”. Notas de clase, curso de la Maestría en Hidrosistemas.

OMM. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas. N°168* (5ta ed.).

Ordóñez, J. I., & Deeb, P. (1979). Hydrology of the great swamp of Santa Marta and its effects on salinity. *Mater. Eng. Clevel*, (129 – 135), 1979.

Pastorok, R. A., Bartell, S. M., Ferson, S., & Ginzburg, L. R. (2001). *Ecological modeling in risk assessment: Chemical effects on populations, ecosystems, and landscapes*. CRC Press.

PNUD. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible, Colombia*. <https://doi.org/84-8476-266-1>

Rangel-Ch, O. (2007). ESTUDIO DE INVENTARIO DE FAUNA, FLORA, DESCRIPCIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA Y LÍNEA BASE AMBIENTAL CIÉNAGA DE ZAPATOSA.

Ricaurte, L. F., Jokela, J., Siqueira, A., Núñez-Avellaneda, M., Marin, C., Velázquez-Valencia, A., & Wantzen, K. M. (2012). Wetland Habitat Diversity in the Amazonian Piedmont of Colombia. *Wetlands*, 32(6), 1189–1202. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0348-y>

Ricaurte, L. F., Olaya-Rodríguez, M. H., Cepeda-Valencia, J., Lara, D., Arroyave-Suárez, J., Max Finlayson, C., & Palomo, I. (2017). Future impacts of drivers of change on wetland ecosystem





services in Colombia. *Global Environmental Change*, 44(March), 158–169.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.04.001>

Roldán, G., & Restrepo, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Bogotá.

Rueda, M., & Defeo, O. (2001). Survey abundance indices in a tropical estuarine lagoon and their management implications: A spatially-explicit approach. *ICES Journal of Marine Science*, 58(6), 1219–1231. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1122>

Saavedra, L. (2013). *Modelación Hidráulica Y De Calidad Del Agua Acoplada Para Humedales , Mediante Processing Modflow*. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.

Santos-Martín, F., Montes, C., Alcorlo, P., García-Tiscar, S., González, B., Vidal-Abarca, M., ... Benayas, J. (2015). De la gestión de los recursos pesqueros a la gestión de los ecosistemas: La aproximación de los servicios de los ecosistemas aplicada a la gestión pesquera. *Ambienta-MAPAMA*, 14. Retrieved from [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_AM/PDF\\_AM\\_Ambienta\\_2015\\_111\\_74\\_87.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM/PDF_AM_Ambienta_2015_111_74_87.pdf)

Tuchkovenko, Y. S., & Calero, L. A. (2003). Modelo matemático del ecosistema de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 145–167. Retrieved from <http://cinto.invemar.org.co/share/proxy/alfresco/api/node/content/workspace/SpacesStore/0ffd4c67-cb42-4321-b69c-908dd0aed874/Calero,L.A.yY.S.Tuchkovenko.2003.pdf>

Tundisi, J., & Mendiando, E. (2008). *Limnologia*. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000100033>

UDEA. (2005). ANÁLISIS DE LA RELACIÓN RÍO-CIÉNAGA Y SU EFECTO SOBRE LA PRODUCCIÓN PESQUERA EN EL SISTEMA CENAGOSO DE AYAPEL, COLOMBIA. *Comparative Studies in Society and History*. Medellín, Colombia. <https://doi.org/10.1017/S0010417500000463>





Vilardy, S., & Cortés-Duque, J. (2014). *Los humedales de Cantagallo, San Pablo y Simití: Una propuesta para su delimitación desde el enfoque de los sistemas socioecológicos*. Bogotá, D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Vilardy, S., Jaramillo, U., Florez, C., Cortés, J., Estupiñan, L., Acevedo, O., ... Aponte, C. (2014). *Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales principios y criterios para la delimitación de humedales continentales una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia*.

Wagner, I., Izydorczyk, K., Kiedrzyńska, E., Mankiewicz-Boczek, J., Jurczak, T., Bednarek, A., ... Zalewski, M. (2009). Ecohydrological system solutions to enhance ecosystem services: The Pilica River demonstration project. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 9(1), 13–39. <https://doi.org/10.2478/V10104-009-0042-8>

WWAP. (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk* (Vol. 1). Retrieved from [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4\\_Volume\\_1-Managing\\_Water\\_under\\_Uncertainty\\_and\\_Risk.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWDR4_Volume_1-Managing_Water_under_Uncertainty_and_Risk.pdf)

Zalewski, M., Janauer, G. a, & Jolánkai, G. (1997). Ecohydrology: A New Paradigm for the Sustainable Use of Aquatic Resources. *International Hydrological Programme, Conceptual Background, Working Hypothesis, Rationale and Scientific Guidelines for the Implementation of the IHP-V Projects 2.3/2.4*, 58 p.





## ANEXOS

**Anexo A Ficha técnica del proyecto (Anexo Digital)**

**Anexo B Base de datos del inventario de la información documental (Anexo Digital)**

**Anexo C Inventario de la información documental (\*.xls Anexo Digital)**

**Anexo D Memoria de la jornada de socialización y reconocimiento del complejo cenagoso de Zapatosa (Anexo Digital)**

**Anexo E Memoria de la jornada de socialización y reconocimiento del complejo cenagoso de Ayapel (Anexo Digital)**

**Anexo F Oficios enviados a los convocados a socializar y retroalimentar el proyecto (Anexo Digital)**

**Anexo G Listados de asistencia a las reuniones a las que el consultor asistió**

**Anexo H Cotizaciones laboratorios para ensayos de calidad de agua y organismos**

**Anexo I Presentaciones de los talleres de socialización**





## Anexo J Relación de costos para análisis de laboratorio en muestras de agua

Como resultado de las cotizaciones que se solicitaron a laboratorios de aguas certificados por el IDEAM se construyó la siguiente tabla de costos, de manera que direccionará el costo global de toma de muestras para cada uno de los presupuestos indicados en el Capítulo 5.2 PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS PRESUPUESTALES.

DESCRIPCIÓN	METODO	VALOR UNITARIO
Temperatura	Equipo multiparametro	\$ 50 000
pH	Equipo multiparametro	\$ 50 000
Turbidez	Equipo multiparametro	\$ 50 000
Oxígeno disuelto	Equipo multiparametro	\$ 50 000
Acidez	SM 2310 B	\$ 23 000
Conductividad eléctrica	SM 2510 B	\$ 7 000
Bicarbonatos	SM 2322 B	\$ 23 000
Carbonatos	SM 2321 B	\$ 23 000
Alcalinidad	SM 2320 B	\$ 23 000
Cloruros	SM 4500-Cl- B	\$ 21 000
Color aparente	SM 2120 B	\$ 10 000
Color real	SM 2120 B	\$ 15 000
DBO5 (Demanda bioquímica de oxígeno)	SM 5210 B	\$ 70 000
DQO -reflujo cerrado volumetrico	SM 5220 C	\$ 70 000
Dureza total	SM 2340 C	\$ 24 000
Fósforo total	SM4500-P B.4; SM 4500-P E	\$ 39 000
Grasas y aceites Soxhlet – Gravimetría	SM 5520 D	\$ 72 000
Nitratos	SM 4500-NO3- B	\$ 32 000
Nitritos	SM 4500-NO2- B	\$ 23 000
Nitrógeno amoniacal	SM 4500-NH3 B;SM 4500-NH3 C	\$ 37 000
Sólidos totales	SM 2540 B	\$ 19 000
Sólidos disueltos	SM 2540 C	\$ 20 000
Sulfatos	SM 4500-SO42- E	\$ 24 000
Metales pesados (hierro).	SM 3111 B	\$ 65 000
Metales pesados (magnesio).	SM 3111 B	\$ 65 000
Metales pesados (potasio).	SM 3111 B	\$ 65 000
Metales pesados (Aluminio)	SM 3111 D	\$ 65 000
Metales pesados (calcio)	SM 3111 D	\$ 65 000
Sodio	SM 3500- Na B	\$ 65 000
Niquel (Ni) - Agua	EPA 3015-SM3111B-Ni	\$ 78 750
Cadmio (Cd) - Agua	EPA 3015-SM3111B-Cd	\$ 85 000
Cobalto (Co) - Agua	EPA 3015-SM3111B-Co	\$ 85 000
Arsénico (As) - Agua	EPA 3015-SM3111B-As	\$ 90 000
Plomo (Pb) - Agua	EPA 3015-SM3111B-Pb	\$ 85 000
Mercurio (Hg) - Agua	EPA 3015-SM3111B-Hg	\$ 78 750
Niquel (Ni) - Sedimentos	EPA 3051 A - FLAAS	\$ 78 750
Cadmio (Cd) - Sedimentos	EPA 3051 A - FLAAS	\$ 78 750
Cobalto (Co) - Sedimentos	EPA 3051 A - FLAAS	\$ 78 750
Arsénico (As) - Sedimentos	EPA 3051 A - FLAAS	\$ 90 000
Plomo (Pb) - Sedimentos	EPA 3051 A - FLAAS	\$ 78 750





Mercurio (Hg) - sedimentos	EPA 3051 A - FLAAS	\$ 78 750
Niquel (Ni) - Material Vegetal	EPA 3051 A - GFAAS	\$ 85 000
Cadmio (Cd) - Material Vegetal	EPA 3051 A - GFAAS	\$ 85 000
Cobalto (Co) - Material Vegetal	EPA 3051 A - GFAAS	\$ 85 000
Arsénico (As) - Material Vegetal	EPA 3051 A - GFAAS	\$ 90 000
Plomo (Pb) - Material Vegetal	EPA 3051 A - GFAAS	\$ 85 000
Mercurio (Hg) - Material Vegetal	EPA 3051 A - GFAAS	\$ 78 750
Aforos Líquidos		\$ 500 000
Aforos Sólidos		\$ 312 500
Macrofitas		\$ 80 000
Perifiton; Macroinvertebrados		\$ 120 000
Peces		\$ 100 000
Coliformes fecales	SM 9222 D	\$ 30 000
Coliformes totales	SM 9222 B	\$ 30 000
Análisis de suelos contaminados	N/A	\$ 6 600
Análisis isotopicos		\$ 500 000





## SIGLAS

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler o Perfilador de Corriente Acústico Doppler
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
APR	Áreas Protegidas Regionales
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CGSM	Ciénaga Grande de Santa Marta
CNM	Centro Nacional de Modelación
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CORMAGDALENA	Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena
CVC	Corporación autónoma regional del Valle del Cauca
CVS	Corporación autónoma regional de los valles del Sinú y del San Jorge
DNP	Departamento Nacional de Planeación
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEF	Global Environment Facility
GIRH	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
IAvH	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
LiDAR	Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging





MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MCMC	Macrocuena Magdalena-Cauca
PNGIRH	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
POMCH	Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica
PUJ	Pontificia Universidad Javeriana
RTK	Real Time Kinematic o Navegación cinética satelital en tiempo real
SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia
SINAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SIRH	Sistema de Información del Recurso Hídrico
TNC	The Nature Conservancy
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNAL	Universidad Nacional de Colombia

