



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**Caracterización del cambio en la regulación hídrica y  
la oferta potencial de servicios ecosistémicos, asociado  
al establecimiento de infraestructura hidráulica. Caso  
de estudio: Complejo de Humedales de Ayapel**

Autoras

Juliana Katherine Tovar Ardila

Mileth Catalina de la Hoz Cuartas

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2020



Caracterización del cambio en la regulación hídrica y la oferta potencial de servicios ecosistémicos, asociado al establecimiento de infraestructura hidráulica. Caso de estudio:  
Complejo de Humedales de Ayapel

Juliana Katerine Tovar Ardila  
Mileth Catalina de la Hoz Cuartas

Trabajo de grado  
como requisito para optar al título de  
Ingeniera Ambiental

Asesora

Lina María Berrouet Cadavid  
Doctora en Ingeniería de Recursos Hidráulicos

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental  
Medellín, Colombia  
2020.

## **RESUMEN.**

A lo largo de los años, en su proceso de adaptación el ser humano ha desarrollado infraestructura hidráulica que le ha permitido el manejo y aprovechamiento de los recursos hídricos, sin embargo, a pesar de los beneficios, esta infraestructura genera transformaciones en los ecosistemas donde tienen lugar; en los humedales por ejemplo, pueden alterar la configuración y las dinámicas hídricas y a su vez tener repercusiones negativas e incluso producir cambios irreversibles en la estructura y funcionamiento del humedal. Teniendo en cuenta que éstos son los ecosistemas más productivos del mundo y son parte integrante del régimen hidrológico local se evidencia la necesidad de ampliar el entendimiento de cómo la infraestructura hidráulica afecta el funcionamiento hidrológico y de qué manera estos cambios condicionan los servicios ecosistémicos que se le asocian, para que esta información resulte útil en el manejo y gestión de estos ecosistemas.

Este trabajo tiene como objetivo sintetizar los efectos que genera la inserción o existencia de infraestructura hidráulica sobre el funcionamiento hidrológico de los humedales y sus repercusiones en la oferta potencial de los servicios ecosistémicos de abastecimiento conexos, teniendo en cuenta las implicaciones que tienen estos ecosistemas estratégicos en los aspectos socioculturales y económicos; para lo cual se hizo una revisión sistemática de literatura que comprendió 159 ítems entre textos académicos y documentación oficial (de los cuales 67 de ellos ayudaron a cumplir los objetivos específicos), este proceso se dividió en tres fases; la primera buscó comprender el funcionamiento hidrológico de los humedales, posteriormente se describieron los cambios hidrológicos que resultan por la instauración o existencia de canales, terraplenes, diques y/o embalses y, en la tercera fase se identificó la incidencia de las transformaciones en las dinámicas hídricas y sus cambios sobre los servicios de abastecimiento.

A partir de la revisión de literatura se pudo identificar que la instauración de al menos un tipo de infraestructura hidráulica en un humedal altera (directa o indirectamente) el régimen hidrológico local o regional, a través de los cambios inducidos en, por lo menos, una de las funciones hidrológicas, y esto a su vez genera cambios en las condiciones de la oferta potencial de diferentes servicios de abastecimiento -los cuales pueden ocurrir simultáneamente-; por ejemplo, se encontró que la alteración del funcionamiento hidrológico potencia la oferta el cultivo de plantas terrestres y la cría de animales acuáticos, ambos utilizados para la nutrición, la obtención de materiales o energía y, paralelamente representa un problema para otros servicios de abastecimiento como la oferta de animales acuáticos silvestres. De acuerdo a la literatura, es complejo establecer una tendencia de cambio general para la oferta potencial de servicios de abastecimiento ante los cambios hidrológicos -causados por la infraestructura hidráulica-, ya que la respuesta de esa oferta está condicionada a los contextos socio-ecológicos.

Por último, se contrastó la información encontrada de la sistematización de literatura con el caso de estudio del Complejo de Humedales de Ayapel, identificando al Dique Marginal del río Cauca como una infraestructura hidráulica clave por su influencia sobre el área de estudio y, tomando como referencia al evento de inundación del año 2010, resultante del rompimiento del Dique Marginal, los resultados comprobaron la relación y el condicionamiento del funcionamiento hidrológico frente a los servicios de abastecimiento conexos. Estos resultados dan cuenta de la necesidad de ampliar la investigación en las sinergias e intercambios (trade-offs) entre funciones hidrológicas y los servicios ecosistémicos de abastecimiento.

Asimismo, es esencial que el manejo y gestión de los ecosistemas de humedal se aborde desde una perspectiva sistémica y holística; por tanto, es necesario profundizar más en este tipo de estudios desde diferentes ramas de la ciencia y la tecnología que permitan integrar a la comunidad para conocer y proveer información más detallada de las implicaciones socio-ecológicas que tiene el desarrollo de este tipo de intervenciones a diferentes escalas y de esta manera tomar mejores decisiones, basados en un panorama que permita satisfacer las necesidades no solo de carácter económico sino también social, cultural y ambiental.

**Palabras claves:** Humedal, funcionamiento hidrológico, infraestructura hidráulica, servicios ecosistémicos de abastecimiento

## 1. INTRODUCCIÓN

Los humedales figuran entre los ecosistemas más productivos del mundo, son fuente de diversidad biológica, de agua y de un amplio abanico de servicios ecosistémicos (SE), características que los posicionan en un renglón importante para el desarrollo económico y social (Guida et al., 2014; Borromé et al., 2015); razones suficientes para denominarlos ecosistemas esenciales en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas como lo afirma la Secretaría de la Convención de Ramsar [Ramsar] (citado en Xu et al., 2019). Su importancia se sustenta en el acceso a los recursos hídricos y como reguladores del régimen hidrológico local (Bacon, 1999; Rúa et al, 2013)

Sin embargo, se calcula que desde 1970 ha desaparecido -por lo menos- el 35% de los humedales del mundo (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2019; Singh & Sinha, 2019; Xu et al., 2019), lo que demuestra la constante degradación y pérdida a la que están sometidos estos sistemas ambientales y que es resultado directo o indirecto de la subvaloración y vacíos en el conocimiento de sus funciones ecosistémicas (Secretaría de la Convención de Ramsar [Ramsar], 2010; Turpie et al., 2010; Yang & Chen, 2013; Jaramillo, Cortés-Duque, & Flórez-Ayala, 2015; García González & Atienza, 2018).

El desarrollo de infraestructura hidráulica (IH), como una forma de intervención antropogénica, y cuyo objeto es introducir cambios físicos en relación con los recursos hídricos para su manejo y aprovechamiento, se constituye en un agente de transformación de ecosistemas como los humedales, ya que genera una serie de cambios en la configuración y las dinámicas hídricas que pueden tener repercusiones negativas e incluso producir cambios irreversibles en la estructura y funcionamiento del humedal (Evaluación de los ecosistemas del Milenio [MEA], 2005; Ramsar 8 Y 9, 2010; Jaramillo, Cortés-Duque, & Flórez-Ayala, 2016), consecuencias que son delimitadas también de acuerdo a la resiliencia del humedal y las interacciones entre los SE (Bennett et al., 2009; Corredor, Fonseca & Páez, 2012; Guida et al., 2019).

Alterar las dinámicas hídricas, significa afectar las funciones del ecosistema que están estrechamente relacionadas con el régimen hidrológico, con lo cual se pueden producir cambios en la integridad ecológica (Heath & Plater, 2010; Hecht et al., 2019) y con ésta se compromete la

gama, disponibilidad y calidad de los SE provistos por los ecosistemas. Particularmente los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento (SEa) experimentan cambios en respuesta a múltiples condiciones de origen natural y antropogénico (Aravindakshan et al., 2020); su oferta depende -entre otras- del funcionamiento hidrológico del humedal y es susceptible a los cambios que ocurran en el mismo. Razón por la cual es importante entender cómo las intervenciones realizadas sobre el cuerpo de agua pueden modificar en el tiempo la capacidad para mantener la función de regulación hídrica y los SE que se relacionan. Pese a esto, se encuentran vacíos en la documentación y/o descripción de los cambios potenciales que podrían ocurrir en estos SEa cuando se alteran las dinámicas hídricas del ecosistema con distintos tipos de intervenciones de carácter hidráulico.

Este proyecto tiene como objetivo caracterizar la incidencia en las dinámicas hídricas y el cambio que ocurre en la oferta potencial de SEa como respuesta a las intervenciones antropogénicas asociadas a la construcción de infraestructura hidráulica. Se hizo una revisión sistemática de literatura para responder a este objetivo y, finalmente, se tomó como caso de estudio el Complejo de Humedales del municipio de Ayapel (CHA) en el departamento de Córdoba, considerando su importancia como ecosistema estratégico que garantiza la oferta de SE esenciales para el desarrollo de la sociedad local y regional. Los resultados pretenden aportar al entendimiento de estos procesos desde un enfoque socio-ecológico para tener en cuenta en la gestión territorial, tal que permitan prever los posibles impactos que podría generar este tipo de intervenciones sobre la capacidad de un sistema de humedal para mantener la oferta de SE y contribuir al entendimiento de las sinergias e intercambios (trade-offs) entre SE y las posibles afectaciones económicas resultantes de las decisiones políticas y de desarrollo que intervienen en la integridad ecológica de los humedales.

## **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **2.1 Objetivo general**

Caracterizar el cambio en los atributos biofísicos asociados a la regulación hídrica, derivados de la instauración de infraestructura hidráulica y su incidencia en la oferta potencial de servicios ecosistémicos de abastecimiento conexos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar las funciones hidrológicas que se ven afectadas en ecosistemas de humedal por la construcción de infraestructura hidráulica.
- Identificar la incidencia de las transformaciones de las dinámicas hídricas (funcionamiento) y los cambios sobre los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento.
- Describir los cambios en los servicios potenciales de aprovisionamiento, debidos a la alteración en el funcionamiento hidrológico causada por la infraestructura hidráulica, en el Complejo de Humedales de Ayapel.

### 3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

La existencia y el funcionamiento de un ecosistema genera flujos de materia, energía e información que, junto con el capital humano producen contribuciones directas o indirectas al bienestar de las personas que lo habitan y/o se relacionan con él, esto se ha definido como SE (Constanza et al, 1997, citado en Gâștescu & Boboc, 2018). Cuando existe la producción completa de un SE determinado, se denomina SE potencial; la fracción que realmente utiliza la sociedad (demanda) se conoce como SE realizado o traducido (Aziz & Van Cappellen, 2019). Existen, además, varios esquemas de clasificación entre otros, los desarrollados por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [MEA] (2005), The Economics of Ecosystems and Biodiversity [TEEB] (2010), la Plataforma Intergubernamental de Ciencia-Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas [IPBES] (Díaz et al., 2015) así como la metodología de Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos [CICES] (Haines-Young & Potschin, 2017); de las que, en general, se puede decir que los se clasifican en tres clases de SE: de regulación y mantenimiento, de aprovisionamiento y culturales (Tabla 1).

De acuerdo a Haines-Young & Potschin (2017), CICES ha sido diseñada para ayudar a medir, contabilizar y evaluar los SE, y los define como las contribuciones que los ecosistemas hacen al bienestar humano, las cuales se enmarcan en términos de "qué hacen los ecosistemas" para las personas; CICES emerge del trabajo sobre el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica dirigido por la División de Estadística de las Naciones Unidas (UNSD por sus siglas en inglés), y ha sido utilizado ampliamente en la investigación de SE para diseñar indicadores, generar mapas y para ejercicios de valoración económica. Por lo anterior y teniendo en cuenta que este sistema fue pensado de tal forma que permitiría la traducción entre diferentes sistemas de clasificación de SE -como los mencionados anteriormente, se elige CICES para la identificación de los SE potenciales del presente trabajo.

Las diferentes clases o tipos de SE no se producen como una contribución aislada e individual de las funciones del ecosistema; por el contrario, los SE son producto de la interacción de distintos procesos o dinámicas en el ecosistema, y adicionalmente existen interacciones entre estos servicios, que permiten entender la influencia que tiene la oferta de un servicio sobre la de otro. Existen dos tipos de interacciones entre SE: Sinergia e intercambio (trade-off). En el primer caso, la oferta de ambos servicios aumenta simultáneamente. Se conoce como trade-off cuando el aumento de la oferta de un servicio deriva en la disminución de la oferta de otro SE (Bennet et al., 2009; Richards et al., 2018; Mengist, Soromessa & Legese, 2020).

Para determinar cuáles son las contribuciones al bienestar humano provenientes de los ecosistemas se tiene la necesidad de comprender las capacidades ecológicas particulares y requeridas para que exista efectivamente su oferta, y cómo las variaciones de estas capacidades afectan el nivel de producción del SE, lo cual se vincula con la noción de función ecológica o función ecosistémica (Potschin y Haines-Young, 2016, citado en Potschin-Young et al., 2017). Esto implica, que en el estudio de los SE, es necesaria la identificación de las condiciones previas (es decir, la configuración y estado asociado a los componentes ecológicos) que son requeridas para que se genere un servicio o un conjunto de servicios, para mejorar su gestión a través del entendimiento de cómo surgen las sinergias y trade-offs dentro de los paquetes de SE (Potschin-Young et al., 2017).

**Tabla 1.** Clasificación de los SE según CICES. Modificado de Haines-Young & Potschin (2017).

Sección	Descripción
<b>Aprovisionamiento</b>	Material nutricional, no nutricional y los resultados energéticos de los sistemas vivos, así como los resultados abióticos (incluido el agua).
<b>Regulación y Mantenimiento</b>	Las formas en que los organismos vivos pueden mediar o moderar el ambiente que afecta la salud humana, la seguridad o la comodidad, junto con equivalentes abióticos.
<b>Cultural</b>	Los resultados no materiales, y normalmente no rivales y no consuntivos de los ecosistemas (bióticos y abióticos) que afectan los estados físicos y mentales de las personas.

Determinar qué es función ecológica y qué es SE depende, desde la perspectiva analítica, cuál es el objeto de valoración; consideremos el ejemplo que cita Potschin-Young et al., (2017) al conceptualizar la polinización: en los bosques boreales, las 'bayas' se consideran un SE final, y la polinización es uno de los factores ecológicos que contribuyen a su producción, sin embargo, en otros contextos, la polinización puede considerarse legítimamente como un SE final al ser los responsables de la diferencia en rendimiento que la disponibilidad de polinizadores hace para la producción final. En pocas palabras, si las bayas son las cosas que se valoran, entonces la polinización se completa con todas las otras contribuciones que la naturaleza hace a su producción en la estimación final, es decir cumple una función ecosistémica; si el objetivo es determinar el valor de los polinizadores, entonces el SE corresponde a la diferencia marginal de rendimiento que hacen. De acuerdo a esto, en el marco de la identificación de SEa potenciales del presente trabajo se establecieron como funciones ecosistémicas los procesos de regulación hídrica necesarios para la oferta de los SEa de interés.

Los procesos de regulación hídrica en los humedales son parte integrante del ciclo hidrológico y cobra importancia en la regulación de la cantidad, calidad y seguridad del recurso hídrico (Ramsar, 2010; Kadykalo, 2016; Talukdar & Pal, 2019) debido a la condición de saturación o inundación estacional o permanente de estos ecosistemas -sean o no naturales (Doña Monzó, 2016), sus dinámicas hídricas están determinadas por una serie de factores entre los cuales se encuentran las condiciones climáticas regionales y locales, el estado promedio y variabilidad de la presión, la temperatura, la humedad atmosférica, la precipitación, etc., variables que determinan los flujos de agua que entran y salen del ecosistema. También las condiciones geomorfológicas que representan la configuración estructural del relieve y definen los contextos a través de los cuales pasan esos flujos de agua son determinantes en la funcionalidad de los ecosistemas. Por tanto, estas condiciones ecológicas, así como los elementos bióticos que conforman estos ecosistemas de humedal, inciden en su integridad ecológica. De acuerdo con Burkhard et al., (2012), la integridad ecológica depende de las estructuras y procesos de los elementos físico-bióticos, que determinan la capacidad de un ecosistema para funcionar saludablemente, mantener la biodiversidad y producir SE (Turkelboom et al., 2013; Potschin-Young et al., 2017). En la Tabla 2, se presentan las funciones ecosistémicas -con énfasis en las funciones hidrológicas de los ecosistemas de humedal.



**Tabla 2.** Funciones hidrológicas en Ecosistemas de Humedal. Modificado de Bacon (1999).

<b>Funciones Hidrológicas</b>	<b>➤ Almacenamiento de Agua</b>	
	Retención de aguas superficiales	Capacidad de los humedales para conservar el agua proveniente de la escorrentía
	Recarga de aguas subterráneas	Movimiento descendente de agua desde el humedal hacia el acuífero
	Regulación de caudales	El humedal determina el régimen de caudal que sale del sistema
	Descarga de aguas subterráneas	Movimiento ascendente del agua subsuperficial hacia el humedal
	Mitigación de inundaciones	Capacidad natural de reducir la extensión, duración y frecuencia de las inundaciones -e incluso absorberlas- de acuerdo con el área y posición en la red de drenaje del humedal.
<b>➤ Conectividad Hidrológica</b>		
Continuidad del agua en el humedal y los ecosistemas relacionados. Relaciones entre los elementos de una cuenca y los procesos hídricos que la gobiernan, depende de la ubicación y la red de corrientes en el humedal.		

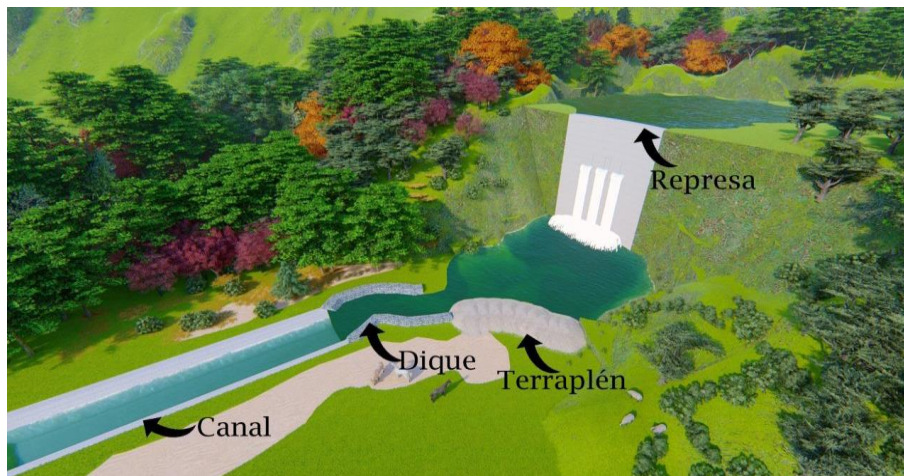
Cuando se generan perturbaciones en al menos uno de los procesos o funciones hidrológicas de los ecosistemas de humedal, se transforma el sistema biofísico; debido a la compleja red de interacciones y mecanismos de retroalimentación entre las mismas funciones hidrológicas y/o entre esas funciones hidrológicas y los SE asociados (Di Baldassarre et al., 2013a; Farhad, 2012; Nieto-Moreno & Restrepo-Calle, 2014); y cambia oferta potencial de SE de los que depende el bienestar humano (Bennett et al., 2009; Corredor, Fonseca & Páez, 2012; Nedkov, 2012; Nieto-Moreno & Restrepo-Calle, 2014; Kirchner, 2014; Zuluaga, 2017; Remo, 2018; Demestihias, 2019; Qiao, 2019; Guida et al., 2019; Mengist, Soromessa & Legese, 2020), especialmente aquellos grupos humanos que habitan en las inmediaciones de estos ecosistemas, pues como lo describe Di Baldassarre et al (2013a), los humedales que están sometidos a los pulsos hidrológicos y a las diferentes formas de intervención antropogénica, han evolucionado gradualmente a escalas temporales y espaciales similares; las sociedades establecidas en sus suelos se ven afectadas abruptamente por la ocurrencia repentina y localizada de inundaciones o sequías, a la vez que la frecuencia (e intensidad) de esos eventos ha sido transformada de manera importante por las sociedades como resultado de las medidas de gestión del riesgo -entre ellas la construcción y desarrollo de IH- adoptadas a lo largo de la historia, hecho que reafirma la compleja red de interacciones en los sistemas socio-ecológicos (Farhad, 2012); es así como la construcción de IH se constituye en un driver antropogénico que genera trade-offs entre las funciones hidrológicas (Mumba, 2005; Hudson, 2008; Chen, 2013; Duc et al 2018; Remo 2018) que introduce, a su vez, cambios en las dinámicas hídricas en al menos una de las formas listadas a continuación (Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, 2002; Di Baldassarre et al, 2013b; Savenije, Hoekstra & Van der Zaag, 2014; Jaramillo et al., 2016)):

- a) Alteración del caudal y del pulso de inundación mediante el desvío directo de los flujos de agua, incluidas las transferencias entre cuencas con infraestructura para la contención, conducción o evacuación de las aguas como canalizaciones y tuberías;



- b) Cambios en la cantidad y estacionalidad de las aguas y los regímenes de flujo debido al cambio de las características de la cuenca de drenaje, entre los cuales se encuentra la deforestación, urbanización, drenaje de humedales y prácticas agrícolas, así como las obras para adecuación del terreno como terraplenes y diques y;
- c) Cambios hidrológicos y pérdida de conectividad hidrológica causados por la transformación de la red de drenaje, a través de, por ejemplo, la construcción de presas y embalses (de aquí en adelante, represas), diques y/o la canalización de ríos.

La construcción de IH tiene como propósito controlar y regular artificialmente el funcionamiento hidrológico natural de los cuerpos de agua (como los humedales), enfocándose principalmente en dos de las funciones mencionadas: la mitigación de inundaciones y la regulación de caudales mediante intervenciones hidráulicas como las consideradas en el presente trabajo que se muestran en la Figura 1. Dado que estas funciones hidrológicas son determinantes en la oferta de los SE, como los de aprovisionamiento, ya que la alta productividad de los humedales ha dado lugar a un amplio desarrollo económico y social sobre sus suelos (Jaramillo et al., 2016; Lara-Pulido, 2018; Qiao et al., 2019) y los hace sitios de interés socio-económico (Di Baldassarre et al., 2013a, 2013b; Duc, 2018; Hudson, 2018); por tanto la búsqueda de comprender y gestionar estos sistemas socio-ecológicos debe ser sistemática y debe reconocer las interacciones de los procesos naturales y de carácter antropogénico que están asociados con la oferta de SE.



**Figura 1.** Tipos de infraestructura hidráulica considerados en el análisis: Presas, canales, diques y terraplenes. Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 1, existen distintos tipos de IH. Las represas se entienden como una barrera o una estructura colocada cruzando un río con el fin de almacenar, controlar y derivar agua; también se considera el terraplén como tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra; por otra parte se muestra la representación de un dique paralelo al cauce de agua que contiene (también puede construirse de manera perpendicular a la dirección del mismo) y, finalmente se muestra la construcción hidráulica que está destinada al transporte de agua y que se caracteriza por ser abierta a la atmósfera, es decir, los canales.

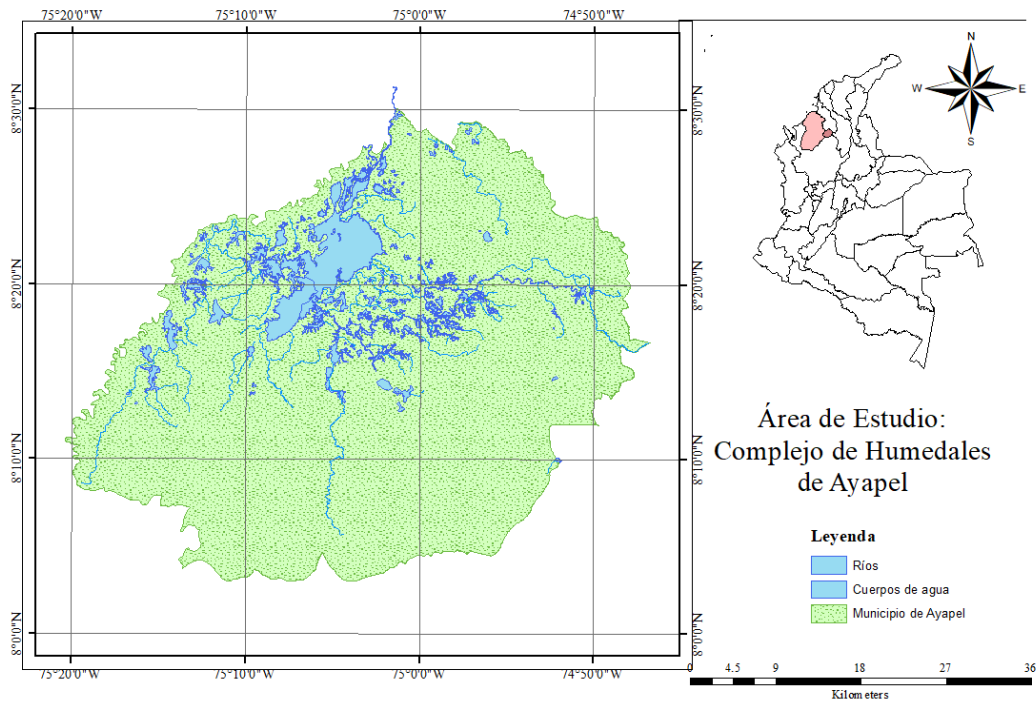
## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Área de estudio

La Depresión Momposina es una de las llanuras de inundación más grandes de América del Sur y un ecosistema estratégico para Colombia (Angarita et al., 2018) dada su capacidad de controlar eventos de inundación y regular las corrientes de agua de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge; alberga una amplia gama de biodiversidad y cuenta con múltiples SE asociados -muchos de ellos fundamentales para la supervivencia de las comunidades cercanas (Marrugo-Negrete, Pinedo-Hernández & Díez, 2015, Jaramillo et al., 2015). Razones suficientes para considerar este conjunto de ecosistemas como capital natural de la región y del país (Garzón & Gutiérrez, 2013, citado en Puerta-Quintana, Aguirre, & Vélez, 2016).

El Complejo de Humedales de Ayapel (CHA) está localizado en el municipio de Ayapel, al Oriente del departamento de Córdoba (Figura 2). Denominado Sitio Ramsar mediante el Decreto 356 de 2018 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2018) es una de las zonas anegables de la Depresión Momposina. La cuenca de la ciénaga de Ayapel tiene un área de 1.504 Km<sup>2</sup> con un gradiente altitudinal comprendido entre los 22 y 110 m.s.n.m.; tiene un paisaje de humedales poco profundos permanentes con profundidades medias cercanas a los 6 m, el principal cuerpo de agua es la Ciénaga de Ayapel, y otros menores como la Ciénaga Hoyo de los Bagres, Escobillas, Escobillitas, Playa Blanca y Las Palmas (localizados al sureste); Patiscos y Cañaguat (localizadas suroeste); también lo conforman otros caños y canales y tierras inundables.

El CHA se encuentra bajo la influencia de los ríos San Jorge y Cauca (Puerta-Quintana et al., 2016; Serna & Cañón, 2016; Serna & Cañón, 2019), su interacción hidrológica está asociada con un pulso anual de inundación; las intervenciones antropogénicas de carácter hidráulico, como las diferentes IH desarrolladas en este ecosistema en conjunto con los fenómenos hidroclimáticos naturales, han alterado la dinámica hidrológica (Serna & Cañón, 2019), poniendo en riesgo la oferta potencial de SE y la sostenibilidad de las actividades económicas que se sustentan en ellos, en otras palabras, se compromete la sostenibilidad del sistema socio-ecológico; lo que evidencia la necesidad de entender (no sólo los impactos ecosistémicos en el funcionamiento hidrológico, sino también) las consecuencias económicas de cambiar las condiciones ecológicas para la oferta de los SEa con las decisiones políticas, de gestión y desarrollo que representa la construcción de IH en el humedal.



**Figura 2.** Área de estudio: Complejo de Humedales de Ayapel. Elaboración propia.

## 4.2 Ruta metodológica

Se planteó una ruta metodológica (Figura 3) compuesta por dos etapas con el fin de cumplir el objetivo general.

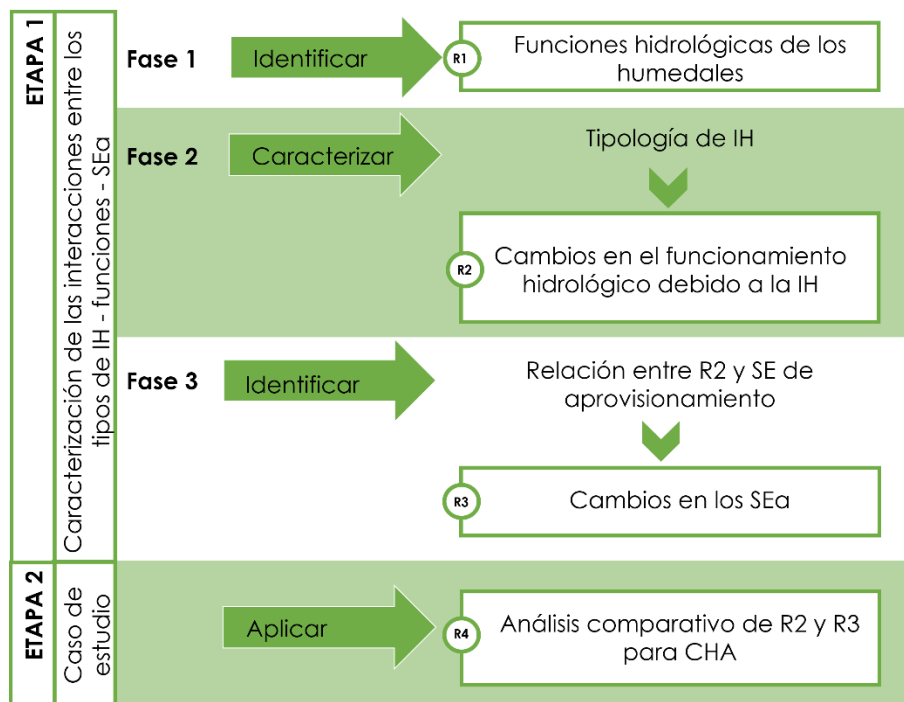
### 4.2.1 Etapa 1: Caracterización de las interacciones entre los tipos de infraestructura hidráulica y de las funciones y servicios ecosistémicos

Esta etapa estuvo enmarcada en la búsqueda de literatura, la cual se realizó principalmente en las bases de datos Science Direct y EBSCO. El número de estudios publicados desde el inicio de este siglo y que están vinculados con diferentes tipos de humedales, funciones hidrológicas, IH y SE, fue de aproximadamente 250. Las búsquedas iniciales se condicionaron a dos criterios: (i) tipos de (cuena, humedal, llanura de inundación) y ii) tipos IH a considerar (represas, diques y/o terraplenes, ver Figura 1). En el caso del primer criterio los tipos de ecosistemas analizados se concentraron más en las llanuras de inundación y cuencas, y en el caso del segundo criterio las IH tipo represas y diques presentaron una mayor frecuencia de literatura hallada. La búsqueda de estos artículos, además de incorporar estos dos criterios, se realizó en distintas fases para garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados. Consecuente con esto, cada una de estas fases de revisión abordó preguntas orientadoras distintas (ver Apéndice A); en la fase 1 se buscó responder ¿cuáles son las funciones ecosistémicas hidrológicas asociadas a los ecosistemas de humedal?, la

fase 2 buscó comprender cuáles son los cambios en dichas funciones, dada las actividades y acciones requeridas para el establecimiento de los distintos tipos de IH y finalmente, el objetivo de la Fase 3 fue entender ¿Cómo el cambio en estas funciones puede transformar servicios ecosistémicos de aprovisionamiento? El detalle de cada una de las fases, se presenta a continuación:

**a) Fase 1: Funciones hidrológicas de los humedales.**

Las condiciones de búsqueda estuvieron dirigidas a describir el funcionamiento hidrológico de los humedales. El resultado objetivo (R1) fue describir las funciones ecosistémicas de carácter hidrológico que condicionan y determinan el régimen y las dinámicas hídricas de los ecosistemas de humedal en general. Para esta fase un total de 70 artículos fueron revisados, de los cuales solo 20 aportaron información para establecer la tipología del funcionamiento hidrológico y su descripción.



**Figura 3.** Ruta metodológica a seguir. Elaboración propia.

**b) Fase 2: Cambios en el funcionamiento hidrológico de los humedales.**

Esta fase se centró en caracterizar, a partir de la revisión de literatura, las alteraciones (R2) que los tipos de IH presentan en las funciones hidrológicas de los ecosistemas de humedal -descritas en R1-; para esta búsqueda se recuperaron y analizaron 95 artículos de los cuales solo 26 describieron

de forma explícita y clara los cambios que se generan en el funcionamiento hidrológico. Debido a que no todos los estudios citaban las funciones bajo el mismo nombre, se hizo un proceso de homologación de funciones hidrológicas que consistió en agrupar las funciones citadas en la literatura dentro de las funciones descritas previamente (Tabla 2) esto se hizo con el objeto de facilitar el proceso de comparación, análisis y síntesis. Además, se sintetizaron los resultados obtenidos de los artículos en una gráfica de frecuencia agrupada (ver resultados – Figura 4); en la cual por cada tipo de IH se presentó el porcentaje de funciones hidrológica que alteraban en función de cuantos artículos hablaban de tales alteraciones. Aunque en la mayoría de artículos mencionaban alteraciones en el régimen hidrológico, no se utilizó en la figura este término ya que este abarca las demás funciones que fueron consideradas para abordar este estudio y que se describían en cada artículo para desglosar este término.

### c) **Fase 3:** Cambios en las SEa de los humedales

La revisión bibliográfica de esta fase estuvo encaminada a la identificación de la tendencia de cambio en los SEa cuando se presentan perturbaciones en las funciones hidrológicas debido a la existencia o construcción de al menos un tipo de IH en los ecosistemas de humedal (R3). Para la síntesis de este análisis, se utilizó una matriz de valoración cualitativa (ver resultados - Figura 5), en la cual se presenta la interacción entre funciones de regulación hidrológica y servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, en este se pueden identificar las tendencias de cambio en su oferta potencial. Esta figura de síntesis, con base en lo referido en los artículos/trabajos revisados, permite describir si los autores refieren una tendencia de aumento o decrecimiento en la oferta potencial de SEa, esto se determinó mediante un recuento de los artículos que citaban de manera explícita o implícita cuando la oferta potencial del servicio o los servicios de aprovisionamiento aumentaban, disminuían o quedaban estables con respecto al evento -instauración del IH- y a cuál función hidrológica se vinculaba; para efectos de sistematización de información los SEa encontrados se homologaron con los grupos definidos por CICES (Haines-Young & Potschin, 2017), filtrando por sección de aprovisionamiento biótico y abiótico y por división de biomasa. Además, se clasificó la categoría de división para distinguir los SEa de carácter acuático y terrestre.

Del mismo modo que en la fase anterior los resultados sufrieron un proceso de homologación de funciones hidrológicas para efectos de análisis, utilizando la base de las funciones hidrológicas encontradas en la primera fase. Durante esta fase se recuperaron 77 artículos de los cuales 21 presentaron un vínculo claro entre los cambios hidrológicos generados por las IH y los cambios resultantes en la oferta potencial de SEa.

#### **4.2.2 Etapa 2. Aplicación al caso de estudio**

En esta etapa se buscó, a partir de la información encontrada en la etapa anterior, mostrar las sinergias y trade-offs que se presentan entre los tipos de IH, las funciones hidrológicas y los SEa en un ecosistema de humedal de importancia regional en Colombia como lo es el CHA, para lo cual se identificó

- i) la IH local-regional y se seleccionó una de ellas (dique marginal del Río Cauca) de acuerdo a su representatividad en las dinámicas sociales y su importancia en eventos de inundación y/o sequía y también teniendo en cuenta la disponibilidad de información secundaria de carácter oficial y no oficial y;
- ii) las afectaciones causadas en las actividades económicas locales que se registraron durante un evento pico que afectó directamente a la zona de interés.

Finalmente, se realizó un análisis comparativo, entre las afectaciones encontradas en la literatura disponible y los cambios en los SEa sintetizados a partir de la revisión bibliográfica (R3), que permitió inferir la tendencia de cambio en los SEa en el CHA

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este apartado se presenta un análisis de los artículos revisados, comenzando con una descripción general de los cambios en el funcionamiento hidrológico de los humedales causados por la IH, estos cambios se presentan de manera sintetizada en la Figura 4. Posteriormente se muestra de manera cualitativa en la Figura 5, la tendencia de cambio que presentan los SEa cuya oferta potencial está estrechamente relacionada con el funcionamiento hidrológico de un ecosistema de humedal y el análisis del caso de estudio, a la luz de esta revisión. Finalmente, se presentan algunos vacíos y retos identificados en los estudios de las investigaciones consultadas frente a la incidencia de las IH en la funcionalidad ecosistémica

### **5.1 Cambios en el funcionamiento hidrológico de los humedales causados por la IH.**

La identificación y evaluación de los impactos hidrológicos causados por la IH desde diferentes focos de estudio como cuenca, humedal, llanura de inundación, entre otros, cuenta con una amplia disponibilidad de literatura, para el presente trabajo tuvo una representatividad del 40% de los estudios consultados. Y, aunque 26 artículos científicos parecen un número pequeño de casos de estudio para caracterizar de manera general los cambios causados por la IH sobre las funciones hidrológicas de los humedales, los siguientes resultados se sintetizaron a partir de una selección de información específica como se explicó anteriormente, que implica sacrificar cantidad a favor de la calidad. También se encontraron particularidades durante la revisión de esta literatura, como el hecho de que la franja tropical se encuentra bien representada en estudios publicados en revistas científicas indexadas con el 53.8% de los estudios de identificación y evaluación de impactos hidrológicos causados por IH; un resultado esperado de acuerdo a la riqueza hídrica y de biodiversidad que se encuentra en esta región geográfica; por otro lado el tipo de IH más frecuentemente investigado, en términos de determinar y valorar los impactos ambientales son las represas (citadas en la literatura como presas, embalses y represas), un motivo es el hecho de que algunos de los tipos de IH considerada en la búsqueda de información son sujeto de licenciamiento ambiental -dada la envergadura de los proyectos de desarrollo de los que hacen parte-, como es el caso de las represas utilizadas para la producción hidroeléctrica o para abastecimiento para múltiples usos.

Así como se reconocen los beneficios derivados de la construcción de IH, se identifican igualmente los impactos sobre los componentes biofísicos derivados de su instauración, con implicaciones de magnitudes diferenciadas sobre los medios de vida de las personas que dependen de los SE asociados (Savenije, Hoekstra & Van der Zaag, 2014).

Estos impactos se han descrito ampliamente e incluyen la modificación de los regímenes de flujo de los ríos debido a las represas y las extracciones de agua, los cuerpos de agua subterránea sobreexplotados con niveles de agua que disminuyen continuamente, ríos y acuíferos contaminados y lagos eutrofizados, y la desaparición de lagos naturales en las cuencas (Savenije, Hoekstra, Van der Zaag, 2014). En general los cambios inducidos sobre el caudal y los pulsos de inundación del ecosistema varían según la operación, el tamaño y la ubicación de la represa, sin embargo, su impacto más evidente es la alteración del régimen hidrológico mediante los cambios inducidos en las funciones hidrológicas que determinan la frecuencia de pulso alto y bajo, la cantidad de descarga y el tiempo de residencia del agua (Li et al, 2017; Han et al, 2017, Lu et al, 2018; Talukdar & Pal, 2019, Ablat et al, 2019; Hecht et al, 2019), el descenso del nivel del agua y del área misma de la llanura de inundación y por tanto altera la capacidad de propagación lateral y vertical del agua (Heath & Plater, 2010; Guida et al, 2015; Talukdar & Pal, 2017; Han et al, 2017, Talukdar & Pal, 2019, Hecht et al, 2019; de Sousa et al, 2019).

Es así como los cambios en estas funciones significan una reducción del volumen del caudal y de su velocidad media (a veces, el flujo alterado es subcrítico en referencia al ambiental); las represas a menudo convierten los caudales naturales muy variables en flujos más estables (Heath & Plater, 2010; Li et al, 2017; Lu et al, 2018; Talukdar & Pal, 2017; Hecht et al, 2019) lo que supone desafíos ecológicos importantes para la biodiversidad nativa adaptada a esa variabilidad, incluso para las comunidades que dependen de los SE resultantes de esos ciclos (Angarita et al., 2004; Caro-Borrero et al., 2015; Tran & James, 2017; Duvail et al., 2017; de Sousa Lobo, Wittmann, Fernandez Piedade, 2019; de Resende et al., 2019). Por ejemplo, la reducción de una magnitud de inundación en un período posterior al establecimiento de la represa, reduce la propagación lateral del agua y puede causar que algunos humedales alejados del río o ubicados en lugares relativamente elevados reciban un suministro hídrico irregular (Talukdar & Pal, 2017) e incluso se desconecten del río contribuyente (debido a la ruptura de los canales de conexión) lo que aumenta la presión ecológica sobre el humedal, disminuye la productividad y obliga a la migración de algunas especies y, aunque con el tiempo el núcleo del humedal principal sea el mismo, estos cambios funcionales implican una conversión ecosistémica de humedal permanente a uno semi-permanente (Li et al, 2017; Lu et al, 2018; Talukdar & Pal, 2019; Ablat et al, 2019; Xu et al, 2019; Hecht et al, 2019), lo que significa una pérdida de biodiversidad y degradación ambiental del ecosistema natural (Heath & Plater, 2010; Li et al, 2017; Lu et al, 2018) lo que, en algunos casos, puede llegar a representar la pérdida parcial o total del humedal (Talukdar & Pal, 2017; Han et al., 2017; Duvail et al., 2017; Talukdar & Pal, 2019; Ablat et al., 2019; Xu et al., 2019)

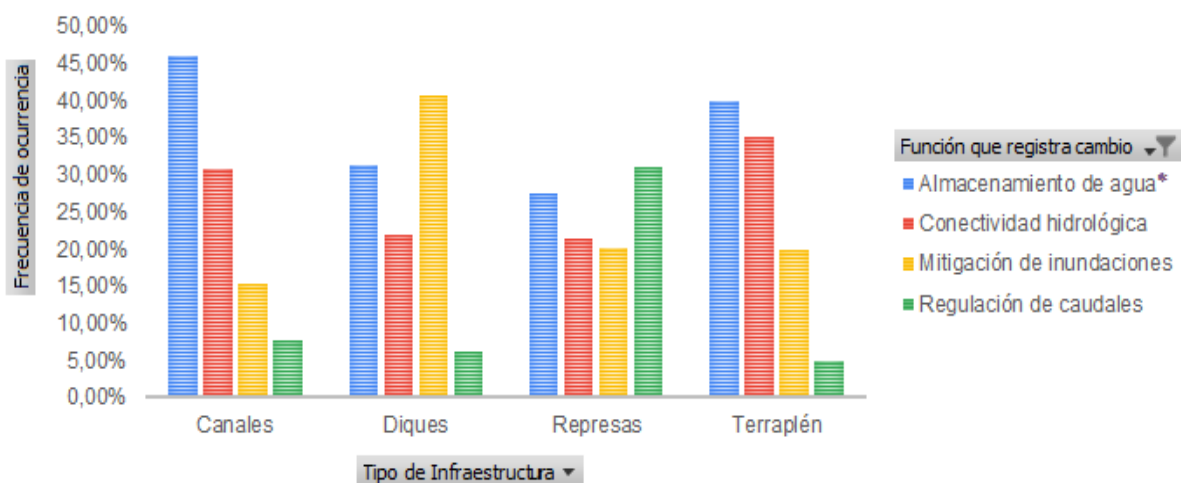
Se evidenció que las represas (así como los otros tipos de IH considerados) alteran de manera directa o indirecta todas las funciones hidrológicas del humedal como se muestra en la Figura 4, y en algunos texto se encontró una generalización de estos impactos mediante la descripción de cambios en el régimen hidrológico -o bien en el pulso hidrológico (Mumba & Thompson, 2005; Rúa, Palacio Baena & Flórez Baena, 2013; Talukdar & Pal, 2019); por otra parte, los impactos hidrológicos causados por los terraplenes recorren (también) todas las funciones hidrológicas, de las cuales, las más ampliamente descritas son las alteraciones causadas sobre la mitigación de



inundaciones y la conectividad hidrológica, y que pueden representar un factor de pérdida de humedal (Liu et al 2004; Yang et al., 2016; Tran & James, 2017; Day et al., 2019). Los estudios consultados acerca de los cambios hidrológicos causados por los diques, resaltaron mayoritariamente la perturbación negativa en la capacidad que tienen los humedales de mitigar las inundaciones debido a las interacciones entre diferentes funciones hidrológicas: la construcción del dique interrumpe la conectividad hidrológica del ecosistema con el redireccionamiento del flujo, disminuyendo el área natural de inundación y transformando el humedal, lo que interrumpe los pulsos naturales de inundación y la capacidad del ecosistema de responder a estos eventos (Liu et al, 2004; Guida et al., 2015; Tran & James, 2017; Remo et al., 2018; Duc et al., 2018; Wood, de Jong & Straatsma, 2018; Lu et al., 2018). Finalmente, todos los artículos que estudiaron los impactos hidrológicos atribuidos a terraplenes y canales presentan similitudes en la manera en que abordan dicho proceso, pues se describen explícita y ampliamente los cambios hechos en la conectividad hidrológica y la mitigación de inundaciones (el objetivo de la construcción de este tipo de IH), pero se desatienden los cambios indirectos causados sobre las demás funciones.

Los estudios encontrados de identificación y valoración de impactos hidrológicos causados por IH descuidan los impactos acumulativos que tienen lugar sobre la función de almacenamiento de agua debido a que está vinculada con las funciones de regulación de caudales, mitigación de inundaciones, retención de aguas superficiales y recarga/descarga de aguas subterráneas (ver Tabla 2), y la hace susceptible de cambios cuando se altera al menos una de estas.

La información presentada en la Figura 4, está agrupada para cada tipo de IH considerada, se pudo identificar que el almacenamiento de agua está dentro de las funciones más susceptibles de ser alteradas por este tipo de intervención, por ejemplo, del 100% de artículos que describieron los impactos hidrológicos causados por los canales, el 45% de ellos se referían (explícita o implícitamente) a la alteración en el almacenamiento de agua. Para el caso de las represas, los artículos se distribuyen de forma cuasi homogénea en la descripción de los cambios sobre las diferentes funciones, debido a que son este tipo de IH las más ampliamente investigadas.



\*Contiene las funciones de recarga y descarga de aguas subterráneas y la retención de aguas superficiales.

**Figura 4.** Funciones hidrológicas que registran cambio debido a la inserción o existencia de IH de acuerdo a la revisión bibliográfica. Elaboración propia

Teniendo en cuenta la compleja red de interacciones entre las estructuras y los procesos ecosistémicos, un solo cambio en una función hidrológica puede llevar detrás cambios indirectos en las demás funciones e incluso comprometer su continuidad, generando transformaciones ecosistémicas que varían según el tipo de humedal y la frecuencia e intensidad de la presión o intervención (asociada en este caso a la magnitud de los cambios que introducen los distintos tipos de IH). Es así como cambios puntuales hechos en diferentes lugares del ecosistema tienen efectos específicos que se acumulan a lo largo de él y podrían magnificar sus consecuencias. La suma de estas modificaciones altera la conectividad y los procesos ecosistémicos a diferentes escalas (Mumba & Thompson, 2005; Jaramillo et al., 2016). Esto se presentó en el estudio por de Resende et al., (2019), sobre los impactos causados por represas en el bosque de Igapó, en el Amazonas, en el cual se demostró que cuando se altera la hidrología de los ríos y se atenúa el pulso de inundación aguas abajo de la represa se impactan los ecosistemas ribereños y de llanuras aluviales, pues se evidenció mortalidad forestal en los primeros 49 Km aguas abajo del lugar donde se ubica la represa, el 12% del bosque de la llanura aluvial murió dentro de este tramo; también detectaron que el 29% del bosque vivo de Igapó restante podía estar sufriendo mortalidad. Además, esta gran pérdida no incluyó la totalidad de los bosques de Igapó perdidos aguas abajo, las áreas que ahora están por encima de las alturas de inundación máximas ya no son inundables y no se mostraron en el estudio, pero probablemente serán susceptibles de mortalidad forestal. Y de acuerdo a de Sousa Lobo, Florian Wittmann & Fernandez Piedadea (2019) quienes hicieron un estudio similar sobre los bosques de Igapó, pero enfocados en cómo éstos respondían a la regulación de caudales artificial derivada de la instauración de represas en el Amazonas, cuyos resultados indican que la composición de las especies arbóreas cambió en el río regulado de distintas maneras dependiendo de la topografía, los cambios en los pulsos de inundación y los flujos de agua llevaron a la pérdida de especies nativas y la invasión de otras adaptadas a las nuevas dinámicas artificiales.

En este mismo sentido, la configuración y desarrollo del funcionamiento hidrológico determina la producción de otros SE, como los SEa, y un cambio en alguna de las funciones hidrológicas del ecosistema podría significar un cambio en al menos uno de los SEa, lo que también habla de las sinergias y trade-offs entre funciones y SE

## **5.2 Cambios en la oferta potencial de SEa relacionados con el funcionamiento hidrológico de los humedales**

Durante esta revisión se encontró que las actividades económicas relacionadas con SEa más frecuentes o más desarrolladas en los ecosistemas de humedal son la pesca y la agricultura, por lo tanto, se menciona frecuentemente el impacto que sufren esos SEa y que está asociado al cambio en todas las funciones hidrológicas estudiadas. De hecho, se abordan más funciones hidrológicas cuando se está evaluando el SE que está asociado a la pesca, mientras que en el caso de la acuicultura se restringe a la función de mitigación de inundaciones, una razón podría ser que no se ha evaluado ampliamente los impactos causados sobre este SE debido a la alteración del funcionamiento hidrológico.

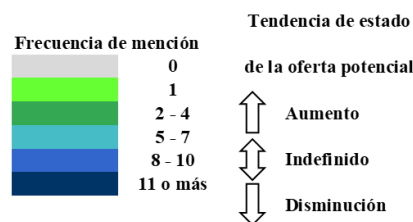
La alteración a las funciones hidrológicas que resulta de la construcción de represas, diques, canales y/o terraplenes para dar vía libre para la explotación y el desarrollo económico sobre los suelos muy fértiles de los humedales (Angartia et al., 2004; Mumba & Thompson, 2005; Vilarity et al.,

2011; Duvail et al., 2017; Tran & James, 2017; Rufin et al., 2018; Zhang et al., 2019; Okyereh, Ofosu & Kabobah, 2019; Ianos et al., 2019; Yan & Zhang, 2019; Gani Adnana, Haquec & Hall, 2019; Huang et al., 2019; Koyanagi et al., 2019; Aravindakshan et al., 2020) cambia la capacidad de almacenamiento de agua del humedal y, dentro de las consecuencias que emergen está el aumento en la oferta de la cría de animales terrestres para la nutrición, la obtención de materiales o energía a partir de biomasa (representado mayoritariamente por la actividad económica de ganadería) como se muestra en la Figura 5, mientras disminuye la oferta de servicios de regulación asociados con las funciones hidrológicas aquí consideradas, fundamentalmente las de regulación de caudales y mitigación de inundaciones. Esto se puede explicar porque la disminución de la mancha de inundación deja mayor espacio disponible para el desarrollo de las actividades económicas (Mumba & Thompson, 2005; Duvail et al., 2017; Tran & James, 2017; Jiang et al., 2018; Gani Adnana, Haquec & Hall, 2019; Koyanagi et al., 2019).

De acuerdo a la matriz de síntesis mostrada en la Figura 5, cambiar el funcionamiento hidrológico de los humedales, se refiere frecuentemente en la literatura revisada, con un efecto de aumento en la oferta potencial de los SEa de Cultivo de plantas terrestres y cría de animales acuáticos, ambos para la nutrición y obtención de materiales o energía (Pouliotte, Smit & Westerhoff, 2011; Duvail et al., 2017; Tran & James, 2017; Fengqin & Shuwen, 2019; Gani Adnana, Haquec & Hall, 2019; Aravindakshan et al., 2020), el primer caso porque la instauración de IH suele dar lugar a una mayor disponibilidad de tierras para los cultivos, el segundo es un resultado de la adaptación de los patrones de asentamiento humano al sistema biofísico emergente al establecer sistemas de acuicultura, como en los casos registrados por Gani Adnana Haquec & Hall (2019) en Bangladesh donde en las últimas dos décadas se ha presentado un crecimiento sustancial en el cultivo de camarones, que reemplaza las tierras agrícolas y se asocia con la salinidad del suelo promovida por la intrusión de agua salina hacia el interior de los terraplenes.

En contraposición, un humedal con el funcionamiento hidrológico alterado, especialmente en términos de su conectividad hidrológica, suele describirse como un problema para la oferta potencial de otros SEa como los animales acuáticos silvestres que sirven para la nutrición, materiales o energía, porque sus afectaciones sobre la hidrología del ecosistema generan cambios en la composición de especies derivados de la pérdida de hábitat para el desove o de la interrupción de los ciclos naturales de reproducción asociados a los pulsos de inundación, entre otros (Angarita et al., 2004; Vilarity et al., 2011; Guida et al., 2015; Duvail et al., 2017; Tran y James, 2017; Jiang et al., 2018; Piria et al., 2018; Ayeni, Ogunesan & Adekola, 2019).

Grupo de SEa		Función hidrológica							
		Almacenamiento de agua	Conectividad hidrológica	Regulación de caudales	Mitigación de inundaciones	Recarga de aguas subterráneas	Descarga de aguas subterráneas	Funcionamiento hidrológico	
Animales para nutrición, materiales o energía.	Terrestres	Criados	↑		↓ ↑	↓ ↑			↑ ↓
		Silvestres	↓						↓
	Acuáticos	Criados				↓ ↑			↓ ↑
		Silvestres	↓	↓	↓ ↑	↓ ↑			↓ ↑
Plantas para nutrición, materiales o energía.	Terrestres	Cultivadas	↓ ↑	↓	↓ ↑	↓ ↑			↓ ↑
		Silvestres	↑		↓ ↑	↓			↓
	Acuáticas	Cultivadas				↑			↑
		Silvestres			↓				↓



**Figura 5.** Tendencia de cambio en la oferta potencial de SEa, debido a las perturbaciones en las funciones hidrológicas causadas por la existencia o construcción de al menos un tipo de IH. La frecuencia de mención representa cualitativamente el recuento de los artículos que describieron alguna tendencia de cambio (disminución o aumento) de las actividades económicas sustentadas en la oferta de los SEa cuando se perturbó al menos una de las funciones hidrológicas. La columna de funcionamiento hidrológico muestra la tendencia de cambio general en la oferta del SEa considerando todas las funciones hidrológicas. Elaboración propia

No fue posible asignar una tendencia a algunos SEa cuya alteración en la oferta potencial no fue posible asignar una tendencia, en la literatura se encuentran descripciones que dan cuenta de aumentos y disminuciones similares en su oferta debido a los cambios hidrológicos del humedal, como es el caso de la cría de animales terrestres cuya disminución en la oferta está asociada al riesgo de inundación (Angarita et al., 2004; Motsholapheko, Kgathi & Vanderpos, 2011; Duvail et al., 2017; Richards et al, 2017; Jiang et al., 2018; Ayeni, Ogunesan & Adekola, 2019) y su aumento, en cambio, a otros factores como los de gestión de recursos y diversificación de actividades económicas (Duvail et al, 2017; Tran & James, 2017; Fengqin & Shuwen, 2019; Koyanagi et al., 2019; Okyereh, Antwi Ofose & Kabobah, 2019); situación similar para el SEa de plantas terrestres silvestres que sirven para la nutrición, materiales o energía, el aumento en su oferta potencial se asocia a la disponibilidad de suelos una vez se interviene el humedal con la construcción de IH (Jiang et al., 2018; Fengqin & Shuwen, 2019) y la disminución con la pérdida de productividad cuando se alteran la función mitigación de inundaciones) y la conectividad hidrológica del ecosistema (Angarita et al., 2004; Duvail et al., 2017; Jiang et al., 2018)

La literatura describe de manera muy variada los cambios resultantes en la oferta potencial de SEa debido a la alteración hidrológica de la instauración de IH en los humedales, hubo casos de estudio cuyos resultados iban en contravía con otros similares, por ejemplo, algunos dieron cuenta de cómo la disponibilidad de plantas terrestres para cultivos aumentó su oferta cuando se alteró la función hidrológica de almacenamiento de agua con la instauración de represas (Rufin et al., 2018; Okyereh, Ofori & Kabobah, 2019), por ejemplo, Ruffin et al., (2018) identificaron cómo aumentó la intensidad de cultivos y se estabilizaron los sistemas de producción agrícola gracias a la disponibilidad de agua resultante de los embalses de riego; pero, paralelamente, encontraron indicios de disminución de la productividad del suelo debido a una relación negativa entre el tiempo transcurrido desde la puesta en servicio de la represa y la frecuencia de los cultivos, lo que demuestra que incluso bajo las mismas condiciones (tipo de SEa, IH y de función hidrológica considerada) se pueden presentar aumentos y disminuciones simultáneas en la oferta del mismo SEa en cuestión; e incluso cuando se consideraban otras condiciones posibles (Mumba & Thompson, 2005; Jiang et al., 2018; Gani Adnana, Haquec & Hall, 2019); continuando con el ejemplo de SEa de plantas terrestres para cultivos Jiang et al., (2018) consideraron el cambio en la conectividad hidrológica causada por el mismo tipo de IH -represas-, encontrando que su oferta potencial disminuye como consecuencia de la pérdida de suelo disponible para actividades agropastoriles debido a la inundación causada por la represa, un resultado en el que coinciden con otros autores como Angarita et al., (2018) y como Gani Adnana, Haquec & Hall (2019) quienes describieron una reducción neta del uso de la tierra para la agricultura que estuvo asociado a las inundaciones ocurridas dentro de los sistemas de terraplén, las cuales aportaron salinidad al suelo (promovida a la vez por la intrusión de agua salina).

Esto ocurre con los diferentes SEa considerados, se pueden encontrar casos de estudio que reportan oferta potencial de SEa en aumento con los cambios hidrológicos (ocasionados por la instauración o existencia de IH) y también es posible encontrar otros estudios que describen para esos mismos SEa, una disminución en su oferta bajo las mismas o similares condiciones hidrológicas consideradas, esto se podría explicar bajo la perspectiva de la complejidad de los sistemas socio-ecológicos, pues la capacidad de respuesta de las comunidades humanas ante los cambios ambientales (cambios en el funcionamiento hidrológico de los humedales, aun cuando ese cambio es producto de otras actividades humanas) varía de un sistema a otro de acuerdo a sus contextos biofísicos, socioeconómicos, políticos y culturales (Di Baldassarre et al., 2013a; 2013b). El ser humano en su intento por potenciar los SEa ha intentado controlar los servicios de regulación alterando el funcionamiento hidrológico de los ecosistemas -pese al alto valor atribuido a estos servicios de regulación de acuerdo a Lara-Pulido, Guevara-SAnginés & Arias-Martelo (2018)-, como se evidenció durante esta revisión, lo que compromete existencia del humedal en el largo plazo y habla una vez más de las variaciones temporales, los trade-offs y las sinergias entre SE y cómo pueden tomar diferentes acciones en diferentes escalas espaciales (Qiao et al., 2019).

En resumen, es difícil atribuirle una tendencia de cambio definida de aumento o disminución de la oferta potencial de los SEa considerados debido a una serie de factores entre los cuales se pueden mencionar:

- La complejidad y no-linealidad inherente a los sistemas ambientales como los ecosistemas de humedal.
- La falta de un sistema de clasificación común para los SE dificulta la homogeneización en la descripción de los servicios en la literatura, pues estos varían según el contexto del área de

estudio y el objetivo mismo del estudio. Esto también aplica para la identificación de impactos hidrológicos, ya que el enfoque del estudio restringe las funciones hidrológicas que se consideran.

- Las interacciones entre las funciones de regulación hídrica y los SEa son bidireccionales, generalmente se aborda sólo desde la perspectiva de cambios en el uso y la cobertura del suelo y su impacto hidrológico en el ecosistema, sin considerar las modificaciones que tienen lugar sobre la hidrología del ecosistema cuando éste es sujeto de intervención antrópica con el objetivo de aprovechar los SEa; es decir, se tienen vacíos en el estudio de sinergias y trade-offs que consideren esta doble vía.
- Muchos de los estudios que relacionan el cambio del funcionamiento hidrológico -debido a la construcción de IH- y su impacto en los SEa, describen de forma poco profunda algunas funciones como la conectividad hidrológica mientras que algunas otras, incluso, no fueron consideradas como es el caso de la recarga y descarga de aguas subterráneas.
- La dinámica del ecosistema da lugar a que pequeños cambios en las condiciones iniciales en una función hidrológica generen cambios en otras funciones hidrológicas relacionadas y, finalmente alteren uno o más SEa

Cabe aclarar que si bien en la Figura 5 existen vacíos en la relación SEa y algunas funciones hidrológicas, no significa que no hay interacción, por el contrario, la provisión de SE en, por ejemplo, las llanuras de inundación, está estrechamente relacionada con las condiciones hidrológicas presentes (Richards et al., 2017), esos vacíos se pueden presentar porque no se consideró este enfoque dentro de los objetivos de los estudios analizados o bien su identificación y/o cuantificación es compleja.

### **5.3 Caso de Estudio: Complejo de Humedales de Ayapel**

En Colombia según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, desde la llegada de las primeras comunidades al país hace aproximadamente 16.000 años, la adaptación de las personas a la dinámica del humedal se ha expresado en intervenciones de carácter hidráulico. Por ejemplo, para el aprovechamiento y el uso de los SE asociados a los ecosistemas de humedal ubicados en los terrenos aluviales se han diseñado y construido distintas obras de IH; algunas para regular el caudal de los ríos y otras para contener, controlar o desviar el flujo de las aguas (Osso, 2012).

Estas construcciones modifican el paisaje y acarrear otros procesos que a simple vista pasan desapercibidos como la transformación del concepto de riesgo asociado a estas zonas, porque la IH construida para controlar las inundaciones dan una percepción de seguridad que hace que los asentamientos humanos se instalen sobre las llanuras de inundación -sin tener en cuenta que esas obras fueron pensadas para determinado periodo de retorno- una vez ocurren los eventos extremos se tiene la necesidad de crear medidas de mitigación.

En Colombia es común que una de las medidas de mitigación sea la construcción o refuerzo de esas mismas IH, lo que permite que sean modificadas y utilizadas por la comunidad para actividades económicas como ganadería y agricultura; es decir, se genera una relación con la IH en la forma en que éstas modifican los flujos de agua y el paisaje y se altera la oferta potencial de otros SE, como los de aprovisionamiento (Figura 5). Esto ha generado que las comunidades rurales

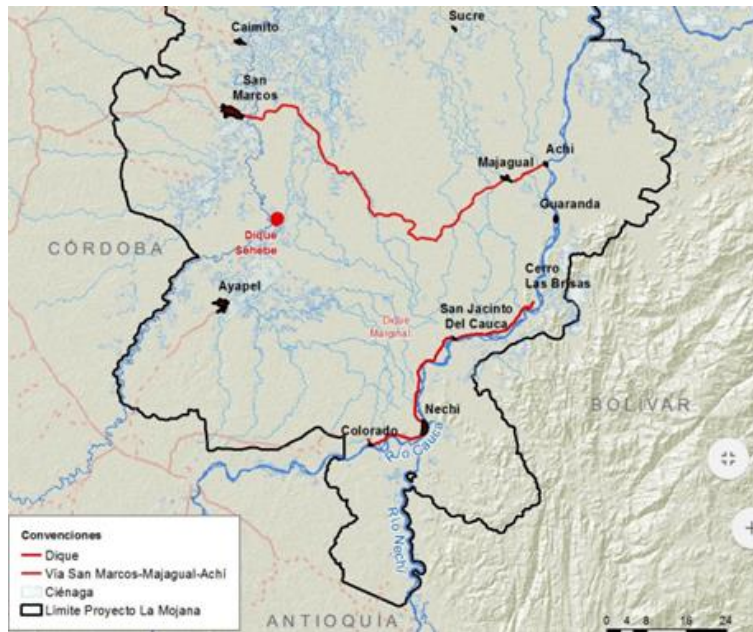
se alejen culturalmente de sus raíces “anfíbias” y pierdan la capacidad adaptativa a los pulsos de inundación naturales de la región que (sumado a la baja presencia del estado) también ha contribuido a generar bajos niveles de gobernanza y por ende una falta de resiliencia o de respuesta a las inundaciones. (Fondo Adaptación, 2016).

“Sólo en el Valle del Cauca entre 1970 y 1990 se construyeron cerca de 715 Km de diques marginales al río Cauca y sus tributarios además de 626 Km de diques en canales interceptores y de drenaje” (Osso, 2012), cifras de este tipo dan cuenta del nivel de intervención que se ha venido presentando en algunos lugares de Colombia; en la región Momposina por ejemplo se identificaron estructuras hidráulicas que se concentran principalmente en cercanías al río Cauca, sobre la parte interna de la Mojana cuya inversión en IH es particularmente elevada debido a los altos niveles de riesgo de inundación (Fondo Adaptación, 2016). Ayapel es un gran humedal dentro de esta ecorregión de la Mojana, y es un escenario importante para actividades económicas como la pesca, la agricultura y la minería, por lo tanto, su dinámica está condicionada por tales obras hidráulicas.

De acuerdo al Fondo de Adaptación, en cercanías al CHA para el año 2015 se tenía la presencia del dique Sehebe; el Dique Marginal (DM) y el dique con Compuertas, algunas estructuras del control hidráulico y el Terraplén Vía San Marcos- Majagual-Achí, como se observa en la Figura 6; infraestructura que afecta de diversas formas a la Ciénaga de Ayapel. Debido a un rompimiento en el dique Marginal en el año 2010 que generó inundaciones de gran envergadura y de alto impacto socioeconómico en la zona de ciénaga, es este dique el que ha tenido mayor visibilidad y reconocimiento; razón por la cual este trabajo se concentra en esta IH para explicar la relación entre el funcionamiento hidrológico y sus cambios con los SEa. El DM es un dique carreteable ubicado sobre la margen izquierda del río Cauca entre Colorado (Antioquia) y la población de Achí (Bolívar), tiene una longitud aproximada de 67.8 Km (Fondo Adaptación, 2016), que reemplazó en el año 2009 los vestigios de un dique artesanal muy antiguo (ver Figura 7).

La zona ubicada entre los municipios de Nechí (Antioquia) y San Jacinto del Cauca (Bolívar) es donde se presentan la mayoría de rupturas del DM, las cuales suelen dar lugar a inundaciones que generan pérdidas económicas a la comunidad (Planes Mojana, 2013); uno de estos eventos de inundación más importante ocurrió en el año 2010, según informes del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y generó cambios en la dinámica natural del CHA, lo que se traduce en la alteración del pulso hidrológico ya que, por ejemplo, se registraron los niveles de agua más altos en la historia en la ciénaga (Obregón, 2015), representando así un cambio hidrográfico importante a nivel histórico en Colombia: la inundación de la ciénaga de Ayapel de forma continua desde el año 2010 hasta el 2013 (Planes Mojana, 2013).



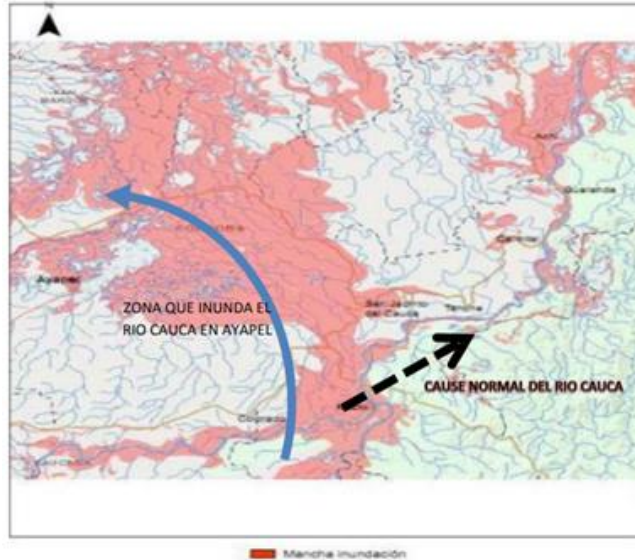


**Figura 6.** Ubicación de IH cercana al CHA. Obregón (2015).



**Figura 7.** Fotos satelitales donde se comprueba la existencia de un dique artesanal en donde a la fecha se encuentra el dique marginal. Obregón (2015).

Sin embargo, este es un fenómeno que ya había ocurrido -en la antigüedad el cauce del río Cauca ya había inundado esta zona-; los altos niveles de sedimentación permitieron que nuevamente este río retornara a una de sus llanuras de inundación y que en el momento máximo de la inundación del año 2010 el tramo que va desde San Jacinto del Cauca hacia el norte (cauce normal de este río) estuviera seco como se observa en la Figura 8.



**Figura 8.** Trayectoria del cauce del río Cauca durante el pico máximo de inundación del año 2010. Planes Mojana (2013).

La ruptura del DM trajo como consecuencia cambios en las actividades económicas y en las dinámicas sociales locales; según reportes de la oficina de la UMATA de Ayapel (2017) la ganadería disminuyó ya que los pequeños y medianos ganaderos ubicados en la zona baja del municipio (considerada la zona más fértil y productiva), se vieron en la necesidad de comercializar las pocas cabezas de ganado que les habían quedado después de las inundaciones de sus predios; de igual forma los agricultores no tenían terreno fértil suficiente donde cultivar -ya que las zonas altas presentan menor productividad debido a la acidez de estos suelos- por lo que el cultivo de arroz presentó una caída de cerca del 90%. En contraste a este panorama la comunidad empezó a migrar de la agricultura a la pesca generando un aumento en esta actividad económica y sobreexplotación del recurso pesquero.

Para el primer semestre del 2011 las inundaciones arrasaron con cerca de 200 hectáreas de arroz seco manual inamomo, 1.100 hectáreas arroz seco mecanizado, 90 hectáreas de maíz tradicional, lo que redujo considerable los rendimientos de estos cultivos; lo que generó que muchos productores dejaran de sembrar semillas de arroz en las zonas bajas asociado al alto riesgo de inundaciones, también la zona baja en el ámbito local quedó totalmente sedimentada lo que imposibilitó en algunas áreas desarrollar los cultivos tradicionales. Además, las inundaciones generaron desempleo en cerca del 80% de los pequeños productores agropecuarios (dedicados a la agricultura, ganadería y pesca) (Umata, 2017).

Todas estas actividades económicas se vinculan a los SEa que el CHA provee y que se ven afectadas por la presencia de IH; esto da cuenta de la relación entre el cambio en la regulación hídrica y la oferta potencial de SE; mientras algunos servicios de aprovisionamiento que están asociados a una actividad económica se ven potencializados -como el caso de la pesca, otros presentan disminución en su oferta potencial como lo son la ganadería y la agricultura.

Estos resultados son coherentes con lo esperado de acuerdo a la Figura 5, si bien este caso de estudio no pudo abarcar y comparar el estado de la oferta potencial de SEa antes y después de la instauración de la IH debido a la falta de información secundaria confiable y de calidad; cuando se analizan eventos extremos y de gran impacto como lo es el rompimiento de un dique se logra evidenciar de forma clara y contundente la existencia de una relación entre el funcionamiento hidrológico del ecosistema y los SEa conexos, en este caso en el CHA. Lo da cuenta de la necesidad de profundizar en este campo del conocimiento y entendimiento de este tipo de sinergias y trade-offs mediante investigaciones que consideren la IH como un agente de transformación del ecosistema y bajo un enfoque socio-ecológico.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La construcción de alguno de los tipos de IH en los ecosistemas de humedal influye de diversas maneras en el régimen hidrológico, debido a la compleja red de interacciones entre las estructuras y procesos que caracteriza a estos ecosistemas naturales, por lo tanto, cambios en las funciones hidrológicas pueden al mismo tiempo afectar otras funciones así como a los servicios ecosistémicos que se les asocia y, si bien se destaca la tendencia de crecimiento que han tenido los estudios sobre humedales a partir de 1980 y especialmente en la última década con un incremento de forma exponencial (Jaramillo et al., 2016), se evidenció la existencia de vacíos en la literatura, en especial estudios cuyo enfoque considere la bidireccionalidad de las interacciones entre el funcionamiento hidrológico y los SE, por lo que este estudio abre caminos y puertas en la investigación y conocimiento de los impactos causados por la IH sobre el funcionamiento hidrológico y su incidencia sobre los SEa.

Si bien se pudo describir todos los tipos de funciones hidrológicas, en el análisis de relación entre esas funciones y los SEa no se consideraron las inherentes a las aguas subterráneas, debido a que el enfoque en los estudios revisados -frecuentemente- está dirigido a los beneficios derivados directamente de la biomasa y no del agua para consumo humano, que es el principal SEa asociado a las aguas subterráneas. Este hecho puede ser un factor determinante en el valor dado a estas funciones por parte de los tomadores de decisiones y de la comunidad en general, ya que estas actividades económicas son más tangibles y ayudarían a valorar las funciones de regulación que están detrás de su aprovisionamiento.

En referencia al caso de estudio se logró comprobar las relaciones de trade-offs y sinergias entre el funcionamiento hidrológico y los SEa, sin embargo, se recomendaría complementar esta investigación mediante un análisis más profundo, por ejemplo con imágenes satelitales e información histórica de los sectores económicos, que permitan identificar y comparar claramente los cambios en el funcionamiento hidrológico paralelamente con los cambios ocurridos en los SEa relacionados, cuando se instaura o construye algún tipo de IH y así mismo, comparar objetivamente con respecto al ecosistema prístino, para garantizar un mejor entendimiento de las relaciones entre funciones hidrológicas y SE y, bajo un enfoque socio-ecológico contribuir a la gestión de este y otros ecosistemas de humedal.

Es esencial que el manejo y gestión de los ecosistemas de humedal se aborde desde una perspectiva sistémica y holística que pretenda, no controlar una función u otra en particular sino, potenciar las interacciones entre sus funciones para lograr la sostenibilidad y aumentar resiliencia del ecosistema, esto se puede lograr a través del enfoque socio-ecológico (Di Baldassarre et al., 2013a; Nieto & Restrepo 2014) Desarrollando este tipo de estudios que determinan las alteraciones a los SEa se podría tener mayor repercusión cuando se valora el entendimiento de las sinergias y trade-offs entre SE porque muestra, no solo las afectaciones ecosistémicas con los servicios de regulación, sino también las afectaciones económicas con los SEa que resultan de las decisiones políticas y de desarrollo.

## 7. REFERENCIAS

- Ablat, X., Liu, G., Liu, Q., & Huang, C. (2019). Application of Landsat derived indices and hydrological alteration matrices to quantify the response of floodplain wetlands to river hydrology in arid regions based on different dam operation strategies. *Science of the Total Environment*, 688, 1389-1404. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.232>
- Adaptación, F. (2016). *Plan De Acción Integral para la reducción del riesgo de inundaciones y adaptación al cambio climático en la región de La Mojana*.
- Administración municipal - Alcaldía municipal Ayapel. (s. f.). *Oficina de la Umata - Ayapel*.
- Adnan, M. S. G., Haque, A., & Hall, J. W. (2019). Have coastal embankments reduced flooding in Bangladesh? *Science of the Total Environment*, 682, 405-416. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.048>
- Aguilera Díaz, M. M. (2009). Ciénaga De Ayapel: Riqueza En Biodiversidad Y Recursos Hídricos. En *Ciénaga de Ayapel: Riqueza en Biodiversidad y Recursos Hídricos*.
- Angela, C. B., Javier, C. J., Teresa, G. M., & Marisa, M. H. (2015). Hydrological evaluation of a peri-urban stream and its impact on ecosystem services potential. *Global Ecology and Conservation*, 3, 628-644. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.02.008>
- Angelo, M. J., & Du Plessis, A. (2017). Research handbook on climate change and agricultural law. *Research Handbook on Climate Change and Agricultural Law*, 1-472. <https://doi.org/10.4337/9781784710644>
- Aravindakshan, S., Krupnik, T. J., Groot, J. C. J., Speelman, E. N., Amjath- Babu, T. S., & Tittonell, P. (2020). Multi-level socioecological drivers of agrarian change: Longitudinal evidence from mixed rice-livestock-aquaculture farming systems of Bangladesh. *Agricultural Systems*, 177(September 2019), 102695. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102695>
- Arias, M. E., Cochrane, T. A., Piman, T., Kummu, M., Caruso, B. S., & Killeen, T. J. (2012). Quantifying changes in flooding and habitats in the Tonle Sap Lake (Cambodia) caused by water infrastructure development and climate change in the Mekong Basin. *Journal of Environmental Management*, 112, 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.003>
- Ayeni, A. O., Ogunsesan, A. A., & Adekola, O. A. (2019). Provisioning ecosystem services provided by the Hadejia Nguru Wetlands, Nigeria – Current status and future priorities. *Scientific African*, 5, e00124. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00124>

- Aziz, T., & Van Cappellen, P. (2019). Comparative valuation of potential and realized ecosystem services in Southern Ontario, Canada. *Environmental Science & Policy*, *100*(June), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.014>
- Bacon, P. R. (1999). *La función de los humedales en el ciclo hidrológico*. 1-7. Recuperado de [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/cop7-docs/NON-RESRECS\\_FINAL/COP7\\_16.1S.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/cop7-docs/NON-RESRECS_FINAL/COP7_16.1S.pdf)
- Borromé de la Cruz, S., Manzano Arellano, M., & Bocanegra, E. (2015). Tendencias de evolución de los servicios ecosistémicos brindados por los principales humedales vinculados a las aguas subterráneas en la República Dominicana. *Anuario de Jóvenes Investigadores*, *8*(8), 99-101.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2011). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, *21*, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- Camargo, E. S. C., Carreño, J. A. F., & Barón, E. M. P. (2015). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *3*(1), 77-83. Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/riaa/article/view/936>
- Choudhury, N. Y., Paul, A., & Paul, B. K. (2004). Impact of costal embankment on the flash flood in Bangladesh: A case study. *Applied Geography*, *24*(3), 241-258. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2004.04.001>
- Clerici, N., Cote-Navarro, F., Escobedo, F. J., Rubiano, K., & Villegas, J. C. (2019). Spatio-temporal and cumulative effects of land use-land cover and climate change on two ecosystem services in the Colombian Andes. *Science of the Total Environment*, *685*, 1181-1192. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.275>
- Collins, S. L., Carpenter, S. R., Swinton, S. M., Orenstein, D. E., Childers, D. L., Gragson, T. L., ... Whitmer, A. C. (2011). An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *9*(6), 351-357. <https://doi.org/10.1890/100068>
- Cusva Verdugo, A., & Olaya Rodríguez, M. H. (2014). *Desarrollo conceptual del mapa de oferta potencial de servicios ecosistémicos priorizados para los complejos de humedales de Colombia escala 1:100.000* (Vol. 014).
- Das, R. T., & Pal, S. (2017). Exploring geospatial changes of wetland in different hydrological paradigms using water presence frequency approach in Barind Tract of West Bengal. *Spatial Information Research*, *25*(3), 467-479. <https://doi.org/10.1007/s41324-017-0114-6>
- Day, J. W., Shaffer, G. P., Cahoon, D. R., & DeLaune, R. D. (2019). Canals, backfilling and wetland loss in the Mississippi Delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *227*(August), 106325. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106325>
- de Vriend, H. J., van Koningsveld, M., Aarninkhof, S. G. J., de Vries, M. B., & Baptist, M. J. (2014). Sustainable hydraulic engineering through building with nature. *Journal of Hydro-Environment Research*, *9*(2), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2014.06.004>
- Debanshi, S., & Pal, S. (2020). Wetland delineation simulation and prediction in deltaic landscape. *Ecological Indicators*, *108*(March 2019), 105757. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105757>
- Demestihias, C., Plénet, D., Génard, M., Raynal, C., & Lescourret, F. (2019). A simulation study of synergies and tradeoffs between multiple ecosystem services in apple orchards. *Journal of Environmental Management*, *236*(April 2018), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.073>

- Departamento Nacional de Planeación, & Alimentación, O. de las N. U. para la A. y la. (2003). *Programa de desarrollo sostenible La Mojana*.
- Di Baldassarre, G., Kooy, M., Kemerink, J. S., & Brandimarte, L. (2013b). Towards understanding the dynamic behaviour of floodplains as human-water systems. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3235-3244. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3235-2013>
- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J. L., & Blöschl, G. (2013a). Socio-hydrology: Conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3295-3303. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3295-2013>
- Díaz, J., Settele, E. S., E.S., B., Ngo, H. T., M., G., J., A., ... Al., E. (2019). *Report of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its seventh session*. 1-44.
- Díaz, M., Camacho, L., & Maestre, A. (2001). Modelación de balances hídricos de cienagas fluviales y costeras colombianas. *Revista de Ingeniería*, (13), 12-20. Recuperado de <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=20248147&lang=es&site=ehost-live>
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>
- Doña Monzó, C. (2016). *Monitoring water quality and hydrological patterns of wetlands using recent techniques in remote sensing* (Universidad de Valencia). Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/80524935.pdf%0Ahttps://cloud1.iigeo.medyratis.org/s/N7sg2AyANTJeNA>
- Duvail, S., Hamerlynck, O., Paron, P., Hervé, D., Nyingi, W. D., & Leone, M. (2017). The changing hydro-ecological dynamics of rivers and deltas of the Western Indian Ocean: Anthropogenic and environmental drivers, local adaptation and policy response. *Comptes Rendus - Geoscience*, 349(6-7), 269-279. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.09.004>
- Estupinan-Suarez, L. M., Florez-Ayala, C., Quinones, M. J., Pacheco, A. M., & Santos, A. C. (2015). Detection and characterization of Colombian wetlands using Alos Palsar and MODIS imagery. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W3(August 2017), 375-382. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-7-w3-375-2015>
- Evers, S., Yule, C. M., Padfield, R., O'Reilly, P., & Varkkey, H. (2016). Keep wetlands wet: the myth of sustainable development of tropical peatlands – implications for policies and management. *Global Change Biology*, 23(2), 534-549. <https://doi.org/10.1111/gcb.13422>
- Fajardo, L., & Entraigas, I. (1983). *Conectividad Hidrológica En Un Sistema Hidrológico No Típico . Caso Del Sector Llano De La Cuenca Del Arroyo Del*.
- Farhad, S. (2012). *Los sistemas socio-ecológicos, una aproximación conceptual y metodológica*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/304115271\\_Los\\_sistemas\\_socio-ecologicos\\_Una\\_aproximacion\\_conceptual\\_y\\_metodologica](https://www.researchgate.net/publication/304115271_Los_sistemas_socio-ecologicos_Una_aproximacion_conceptual_y_metodologica)
- Félix-Massa, T. (2018). Valoración de servicios ecosistémicos y planificación: una propuesta de gestión sostenible del turismo en humedales. *Revista Atlántica de Economía*, 1(Número especial: III Reunión RISE-SASE), 1-30.
- García González, R., & Atienza, J. C. (2018). *Humedales RAMSAR en España de interés para las aves acuáticas: Estado de Conservación y recomendaciones* (SEO/BirdLi). Recuperado de [www.seo.org](http://www.seo.org)

- Gâstescu, P., & Boboc, L.-Ș. (2018). The Danube Floodplain in the Pontic Sector—Ecosystem Services, Anthropic Modifications and Management. *Risks and Catastrophes Journal*, 22(1), 7-18. [https://doi.org/10.24193/rcj2018\\_1](https://doi.org/10.24193/rcj2018_1)
- Goldenberg, R., Kalantari, Z., Cvetkovic, V., Mörtberg, U., Deal, B., & Destouni, G. (2017). Distinction, quantification and mapping of potential and realized supply-demand of flow-dependent ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 593-594, 599-609. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.130>
- González Agudelo, E. M., & Aguirre Ramírez, N. J. (2017). De las ciencias a la vida o sobre la productividad en la Ciénaga de Ayapel y su praccis. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 29-48. <https://doi.org/10.22395/rium.v14n27a2>
- Guida, R. J., Swanson, T. L., Remo, J. W. F., & Kiss, T. (2015). Strategic floodplain reconnection for the Lower Tisza River, Hungary: Opportunities for flood-height reduction and floodplain-wetland reconnection. *Journal of Hydrology*, 521, 274-285. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.080>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2017). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 Guidance on the Application of the Revised Structure*. Recuperado de [www.cices.eu](http://www.cices.eu)
- Han, X., Feng, L., Hu, C., & Chen, X. (2018). Wetland changes of China's largest freshwater lake and their linkage with the Three Gorges Dam. *Remote Sensing of Environment*, 204(September 2017), 799-811. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.023>
- Heath, S. K., & Plater, A. J. (2010). Records of pan (floodplain wetland) sedimentation as an approach for post-hoc investigation of the hydrological impacts of dam impoundment: The Pongolo river, KwaZulu-Natal. *Water Research*, 44(14), 4226-4240. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.05.026>
- Hecht, J. S., Lacombe, G., Arias, M. E., Dang, T. D., & Piman, T. (2019). Hydropower dams of the Mekong River basin: A review of their hydrological impacts. *Journal of Hydrology*, 568(May 2018), 285-300. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.045>
- Huang, X., Liu, J., Zhang, Z., Fang, G., & Chen, Y. (2019). Assess river embankment impact on hydrologic alterations and floodplain vegetation. *Ecological Indicators*, 97(October 2018), 372-379. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.039>
- Hudson, P. F., Middelkoop, H., & Stouthamer, E. (2008). Flood management along the Lower Mississippi and Rhine Rivers (The Netherlands) and the continuum of geomorphic adjustment. *Geomorphology*, 101(1-2), 209-236. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.07.001>
- Ianoș, I., Ionică, C., Sîrodoev, I., Sorensen, A., Bureța, E., Merciu, G., ... Tălângă, C. (2019). Inadequate risk management and excessive response to flood disaster create unexpected land use changes and potential local conflicts. *Land Use Policy*, 88(June). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104081>
- Jaramillo, U., Cortés-Duque, J., & Flórez-Ayala, C. (2015). Colombia Anfibia. Un país de humedales Vol. I. En *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Jaramillo, U., Cortés-Duque, J., & Flórez-Ayala, C. (2016). Colombia Anfibia. Un país de humedales Vol. II. En *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Jiang, L., Ban, X., Wang, X., & Cai, X. (2014). Assessment of hydrologic alterations caused by the three gorges dam in the middle and lower reaches of Yangtze River, China. *Water (Switzerland)*, 6(5), 1419-1434. <https://doi.org/10.3390/w6051419>



- Jiang, X., Lu, D., Moran, E., Calvi, M. F., Dutra, L. V., & Li, G. (2018). Examining impacts of the Belo Monte hydroelectric dam construction on land-cover changes using multitemporal Landsat imagery. *Applied Geography*, *97*(June), 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.05.019>
- Kadykalo, A. N., & Findlay, C. S. (2016). The flow regulation services of wetlands. *Ecosystem Services*, *20*, 91-103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.06.005>
- Karim, F., Dutta, D., Marvanek, S., Petheram, C., Ticehurst, C., Lerat, J., ... Yang, A. (2015). Assessing the impacts of climate change and dams on floodplain inundation and wetland connectivity in the wet-dry tropics of northern Australia. *Journal of Hydrology*, *522*, 80-94. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.005>
- Keenan, R. J., Pozza, G., & Fitzsimons, J. A. (2019). Ecosystem services in environmental policy: Barriers and opportunities for increased adoption. *Ecosystem Services*, *38*(June 2018), 100943. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100943>
- Kirchner, M., Schmidt, J., Kindermann, G., Kulmer, V., Mitter, H., Prettenthaler, F., ... Schmid, E. (2015). Ecosystem services and economic development in Austrian agricultural landscapes - The impact of policy and climate change scenarios on trade-offs and synergies. *Ecological Economics*, *109*, 161-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.11.005>
- Koyanagi, T. F., Yamada, S., Matsuzaki, H., & Kato, Y. (2019). Impacts of previous maintenance of river embankments on the grassland communities by changing soil properties. *Ecological Engineering*, *131*(March), 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.03.004>
- Lara-Pulido, J. A., Guevara-Sanginés, A., & Arias Martelo, C. (2018). A meta-analysis of economic valuation of ecosystem services in Mexico. *Ecosystem Services*, *31*, 126-141. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.018>
- Li, D., Long, D., Zhao, J., Lu, H., & Hong, Y. (2017). Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. *Journal of Hydrology*, *551*, 217-232. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.061>
- Liu, H., Zhang, S., Li, Z., Lu, X., & Yang, Q. (2004). Impacts on wetlands of large-scale land-use changes by agricultural development: The Small Sanjiang Plain, China. *Ambio*, *33*(6), 306-310. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-33.6.306>
- Liu, J., Engel, B. A., Dai, L., Wang, Y., Wu, Y., Yan, G., ... Zhang, M. (2019). Capturing hydrological connectivity structure of wetlands with indices based on graph theory: A case study in Yellow River Delta. *Journal of Cleaner Production*, *239*, 118059. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118059>
- Lobo, G. de S., Wittmann, F., & Piedade, M. T. F. (2019). Response of black-water floodplain (igapó) forests to flood pulse regulation in a dammed Amazonian river. *Forest Ecology and Management*, *434*(December 2018), 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.12.001>
- Lu, W., Lei, H., Yang, D., Tang, L., & Miao, Q. (2018). Quantifying the impacts of small dam construction on hydrological alterations in the Jiulong River basin of Southeast China. *Journal of Hydrology*, *567*(May), 382-392. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.034>
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., & Díez, S. (2015). Geochemistry of mercury in tropical swamps impacted by gold mining. *Chemosphere*, *134*, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.012>
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Ecosystem services research in mountainous regions: A systematic literature review on current knowledge and research gaps. *Science of the Total Environment*, *702*, 134581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134581>

- Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Política Nacional para humedales interiores de Colombia*. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit\\_nal\\_humedales\\_int\\_colombia.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit_nal_humedales_int_colombia.pdf)
- Montoya M., Y., & Aguirre R., N. (2013). Dinámica fisicoquímica de las aguas de un sistema de planicies inundables tropicales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (69), 256-273. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43029812020%0ACómo>
- Motsholapheko, M. R., Kgathi, D. L., & Vanderpost, C. (2011). Rural livelihoods and household adaptation to extreme flooding in the Okavango Delta, Botswana. *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(14-15), 984-995. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.004>
- Mumba, M., & Thompson, J. R. (2005). Hydrological and ecological impacts of dams on the Kafue Flats floodplain system, southern Zambia. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30(6-7 SPEC. ISS.), 442-447. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.06.009>
- Nedkov, S., & Burkhard, B. (2012). Flood regulating ecosystem services - Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. *Ecological Indicators*, 21, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.022>
- Nieto-Moreno, O., & Restrepo-Calle, S. (2014). Hacia la Definición de un Enfoque Conceptual para la Caracterización de Humedales Bajo Criterios Socioeconómicos, Culturales e Institucionales. En *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Recuperado de [http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9593/3131 Documento criterios socioeconomicos y culturales\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9593/3131 Documento criterios socioeconomicos y culturales_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Obregón-Neira, N. (2015). *Una visión de Futuro del Centro Nacional de Modelación en el marco de SIRH*.
- Okyereh, S. A., Ofosu, E. A., & Kabobah, A. T. (2019). Modelling the Impact of Bui Dam Operations on Downstream Competing Water Uses. *Water-Energy Nexus*, 2(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2019.03.001>
- OSSO. (2013). *Patrones en la configuración de riesgos y condiciones de vulnerabilidad asociados con la ruptura de diques en Colombia*.
- Pascual Aguilar, J. A., Rubio, J. L., Andreu, V., Campo, J., González, O., & Gimeno, E. (2010). Tamaño de área de drenaje y conectividad hidrológica en la formación de escorrentía en cuencas semiáridas mediterráneas. Cuenca aforada del barranc del carraixet. *Pirineos*, 165(165), 179-192. <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2010.165009>
- Piria, M., Simonović, P., Zanella, D., Čaleta, M., Šprem, N., Paunović, M., ... Treer, T. (2019). Long-term analysis of fish assemblage structure in the middle section of the Sava River – The impact of pollution, flood protection and dam construction. *Science of the Total Environment*, 651, 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.149>
- Potschin-Young, M., Czúcz, B., Liqueste, C., Maes, J., Rusch, G. M., & Haines-Young, R. (2017). Intermediate ecosystem services: An empty concept? *Ecosystem Services*, 27, 124-126. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.001>
- Pouliotte, J., Smit, B., & Westerhoff, L. (2009). Adaptation and development: Livelihoods and climate change in Subarnabad, Bangladesh. *Climate and Development*, 1(1), 31-46. <https://doi.org/10.3763/cdev.2009.0001>
- Puerta Quintana, Y. T., Aguirre Ramírez, N. J., & Vélez Macías, F. de J. (2016). Sistema cenagoso de Ayapel como posible sitio Ramsar en Colombia (Vol. 19).

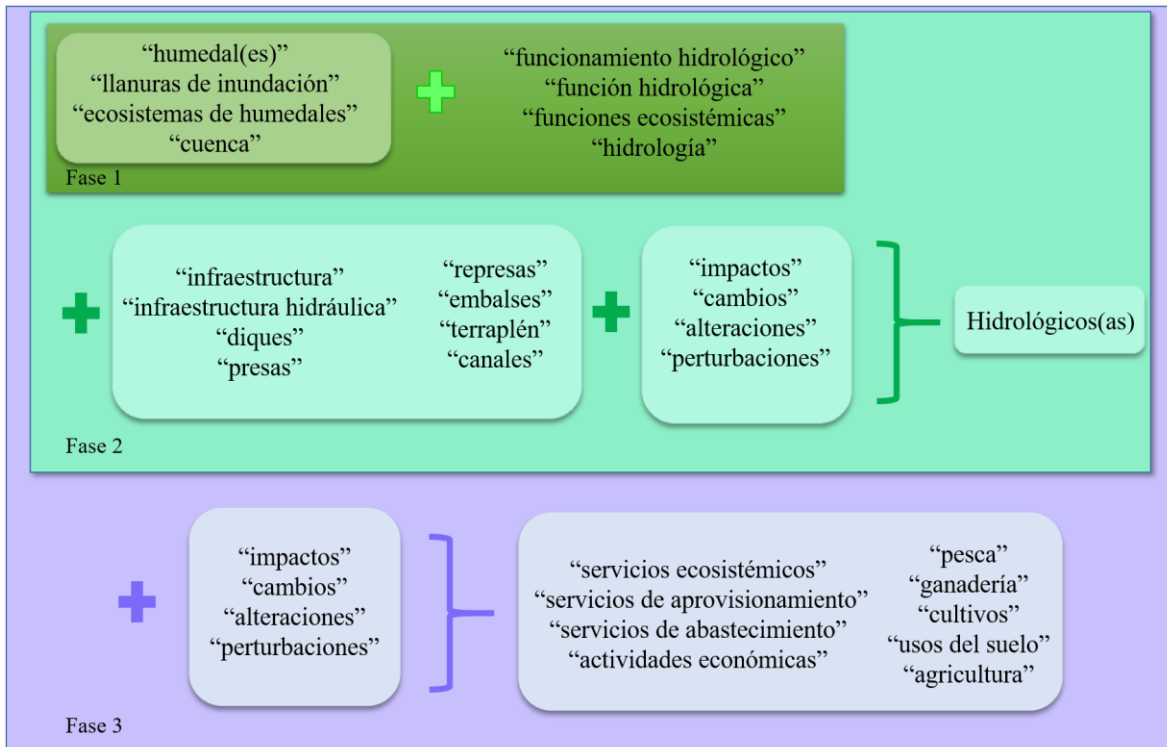
- Qiao, X., Gu, Y., Zou, C., Xu, D., Wang, L., Ye, X., ... Huang, X. (2019). Temporal variation and spatial scale dependency of the trade-offs and synergies among multiple ecosystem services in the Taihu Lake Basin of China. *Science of the Total Environment*, 651, 218-229. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.135>
- Remo, J. W. F., Ickes, B. S., Ryherd, J. K., Guida, R. J., & Therrell, M. D. (2018). Assessing the impacts of dams and levees on the hydrologic record of the Middle and Lower Mississippi River, USA. *Geomorphology*, 313, 88-100. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.004>
- Resende, A. F. de, Schöngart, J., Streher, A. S., Ferreira-Ferreira, J., Piedade, M. T. F., & Silva, T. S. F. (2019). Massive tree mortality from flood pulse disturbances in Amazonian floodplain forests: The collateral effects of hydropower production. *Science of the Total Environment*, 659, 587-598. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.208>
- Ricaurte, L. F., Borja, S. M., Gutiérrez, J., Cepeda-Valencia, J., Arroyave, L. J., Olaya-Rodríguez, M. H., & Lara, D. (2014). Evaluación y mapeo de los impulsores de cambio directos sobre los humedales a escala 1:100.000 en las cuencas priorizadas por el Fondo Adaptación. En *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
- Richards, D. R., Moggridge, H. L., Maltby, L., & Warren, P. H. (2018). Impacts of habitat heterogeneity on the provision of multiple ecosystem services in a temperate floodplain. *Basic and Applied Ecology*, 29, 32-43. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.02.012>
- Rúa, A., Palacio-Baena, J., & Flórez -Molina, M. T. (2014). Relación del pulso hidrológico con la estratigrafía del sedimento del complejo de humedales de Ayapel, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (70), 197-206.
- Rufin, P., Levers, C., Baumann, M., Jägermeyr, J., Krueger, T., Kuemmerle, T., & Hostert, P. (2018). Global-scale patterns and determinants of cropping frequency in irrigation dam command areas. *Global Environmental Change*, 50(January), 110-122. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.02.011>
- Savenije, H. H. G., Hoekstra, A. Y., & Van Der Zaag, P. (2014). Evolving water science in the Anthropocene. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(1), 319-332. <https://doi.org/10.5194/hess-18-319-2014>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2016). *Manual Introducción a la Convención sobre los Humedales*. Gland.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). Manual 9. Manejo de cuencas hidrográficas. En *Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales* (Vol. 9).
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Manual 8. Lineamientos de Ramsar en relación con el agua* (Vol. 4). Recuperado de <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-08sp.pdf>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2018). *Ampliar la conservación, el uso racional y la restauración de los humedales para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Serna López, J. P., & Cañon Barriga, J. E. (2019). Projecting the future of Ayapel Ciénaga: a hydroecologic analysis under climate change scenarios. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20190940>
- Serna, J. P. (2016). *Modelación del comportamiento hidrosocial de la Ciénaga de Ayapel (Córdoba) bajo diferentes escenarios de cambio climático*. Universidad de Antioquia.
- Singh, M., & Sinha, R. (2019). Evaluating dynamic hydrological connectivity of a floodplain wetland in North Bihar, India using geostatistical methods. *Science of the Total Environment*, 651, 2473-2488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.139>

- Stürck, J., Schulp, C. J. E., & Verburg, P. H. (2015). Spatio-temporal dynamics of regulating ecosystem services in Europe- The role of past and future land use change. *Applied Geography*, 63, 121-135. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.009>
- Talukdar, S., & Pal, S. (2017). Impact of dam on inundation regime of flood plain wetland of punarbhaha river basin of barind tract of Indo-Bangladesh. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 109-121. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.003>
- Talukdar, S., & Pal, S. (2019). Effects of damming on the hydrological regime of Punarbhaha river basin wetlands. *Ecological Engineering*, 135(May), 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.05.014>
- TEEB. (2010). *Una guía rápida: La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad para Diseñadores de Políticas Locales y Regionales*.
- Theriot, J. M., Conkle, J. L., Reza Pezeshki, S., DeLaune, R. D., & White, J. R. (2013). Will hydrologic restoration of Mississippi River riparian wetlands improve their critical biogeochemical functions? *Ecological Engineering*, 60, 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.021>
- Tran, D. D., van Halsema, G., Hellegers, P. J. G. J., Ludwig, F., & Seijger, C. (2018). Stakeholders' assessment of dike-protected and flood-based alternatives from a sustainable livelihood perspective in An Giang Province, Mekong Delta, Vietnam. *Agricultural Water Management*, 206(August 2017), 187-199. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.039>
- Tran, T., & James, H. (2017). Transformation of household livelihoods in adapting to the impacts of flood control schemes in the Vietnamese Mekong Delta. *Water Resources and Rural Development*, 9(October 2016), 67-80. <https://doi.org/10.1016/j.wrr.2017.04.002>
- Turkelboom, F., Raquez, P., Dufrière, M., Raes, L., Simoens, I., Jacobs, S., ... Keune, H. (2013). CICES Going Local: Ecosystem Services Classification Adapted for a Highly Populated Country. En *Ecosystem Services: Global Issues, Local Practices* (pp. 223-247). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-419964-4.00018-4>
- Turpie, J., Lannas, K., Scovronick, N., & Louw, A. (2010). *Wetland Valuation Volume I. Wetland Ecosystem Services and Their Valuation: A Review of Current Understanding and Practice*.
- Valencia-Bolaños, I.-V. (2017). *Percepción Social del Riesgo por Pérdida de Servicios Ecosistémicos – Caso de Estudio Cuenca del Río Grande, Antioquia* (Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/61270/1/1113639802.2017.pdf>
- Valles, C. A. R. D. E. L. O. S., & Sinu, D. E. L. (2009). ,16 dic 2009.
- Verhoeven, J. T. A., & Setter, T. L. (2010). Agricultural use of wetlands: Opportunities and limitations. *Annals of Botany*, 105(1), 155-163. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp172>
- Vidal Olivera, V., Abreu Fernández, R., Jiménez Peña, Y., Valdés González, L., & Castro Carrillo, M. (2015). Funciones y usos de los recursos hídricos en el Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2), 84-93.
- Vilardy, S. P., González, J. A., Martín-López, B., & Montes, C. (2011). Relations entre reacute;gime hydrologique et fourniture de services eacute;cosysteacute;miques dans une zonehumide cõtierre des Caraïbes: Une approche socio-écologique. *Hydrological Sciences Journal*, 56(8), 1423-1435. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.631497>
- Villegas-González, P., Triviño-León, N., Escobar-Vargas, J. A., Obregón-Neira, N., González-Méndez, M., González-Salazar, R. E., & Flórez-Flórez, M. J. (2016). Modelación Integrada de Sistemas Socio-ecológicos Complejos: Caso de Estudio la Ecorregion de la Mojana. *Revista Ingeniería*, 21, 391-410. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2016.3.a09>

- Walz, U., Richter, B., & Grunewald, K. (2019). Indicators on the ecosystem service “regulation service of floodplains”. *Ecological Indicators*, 102(March), 547-556.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.073>
- Weyland, F., Barral, M. P., & Laterra, P. (2017). Assessing the relationship between ecosystem functions and services: Importance of local ecological conditions. *Ecological Indicators*, 81(May), 201-213. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.062>
- Wood, M., de Jong, S. M., & Straatsma, M. W. (2018). Locating flood embankments using SAR time series: A proof of concept. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 70(September 2017), 72-83. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.04.003>
- Wu, C. L., Shukla, S., & Shrestha, N. K. (2016). Evapotranspiration from drained wetlands with different hydrologic regimes: Drivers, modeling, and storage functions. *Journal of Hydrology*, 538, 416-428. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.027>
- Xu, W., Fan, X., Ma, J., Pimm, S. L., Kong, L., Zeng, Y., ... Ouyang, Z. (2019). Hidden Loss of Wetlands in China. *Current Biology*, 29(18), 3065-3071.e2.  
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.07.053>
- Yan, F., & Zhang, S. (2019). Ecosystem service decline in response to wetland loss in the Sanjiang Plain, Northeast China. *Ecological Engineering*, 130(June 2018), 117-121.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.02.009>
- Yang, Y., & Chen, H. (2013). Assessing impacts of flow regulation on trophic interactions in a wetland ecosystem. *Journal of Environmental Informatics*, 21(1), 63-71.  
<https://doi.org/10.3808/jei.201300233>
- Zhang, Y., Zheng, H., Herron, N., Liu, X., Wang, Z., Chiew, F. H. S., & Parajka, J. (2019). A framework estimating cumulative impact of damming on downstream water availability. *Journal of Hydrology*, 575(May), 612-627. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.061>
- Zuluaga Zabaleta, L. F. (2017). *Interacciones, compensaciones y sinergias entre servicios ecosistémicos en cultivos de plátano, Eje Cafetero Colombiano*. Universidad Tecnológica de Pereira.

## Apéndice A. Cadena de búsqueda utilizada en la búsqueda de información

En el proceso de búsqueda de literatura para lograr la sistematización de la información se emplearon combinaciones de cadenas de búsquedas como se muestra en la Figura 9, que facilitaron encontrar artículos que cumplieran con los requerimientos de cada fase.



**Figura 9.** Cadenas de búsquedas utilizadas en cada fase del trabajo. Elaboración propia.