



DNP

Valoración de los  
servicios ecosistémicos del

# RÍO SINÚ Y EL GOLFO DE MORROSQUILLO

Aportes a la economía regional

Informe final

Stanford

Natural Capital Project

## Departamento Nacional de Planeación

Alexander López Maya, director general  
Mario Alejandro Valencia, subdirector general  
de Prospectiva y Desarrollo Nacional  
Carolina Díaz Giraldo, directora de Ambiente y  
Desarrollo Sostenible  
Fabián Darío Villalba Pardo  
Nicolás Alejandro Rojas Pardo  
Lina Ibatá Molina  
Diana Patricia Mendoza González  
Camilo Andrés Díaz Campos

## Proyecto de Capital Natural Universidad de Stanford

Lisa Mandle  
Héctor Angarita Corredor  
Jesse A. Goldstein  
Jaime Moreno Miranda  
Sioux F. Melo L.

## Agradecimientos

Departamento Administrativo Nacional de  
Estadística (DANE)  
Diego Andrés Cobaleda Martínez  
Jenny Johana Rosado Ortiz  
Agencia de Desarrollo Rural (ADR)  
Corporación Autónoma Regional de Sucre  
(CARSucre)  
Corporación Autónoma de los Valles del Sinú  
y del San Jorge (CVS)  
Veolia Montería ESP  
Alcaldía de Coveñas  
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)  
Gregory Watson  
José Manuel Sandoval  
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible  
Instituto de Investigación de Recursos  
Biológicos Alexander von Humboldt  
Alejandra Echeverri Ochoa

## Apoyo Editorial

Oficina Asesora de Comunicaciones

## Diagramación, ilustración y diseño

Leidy Natalia Ríos Sánchez

**Cítese como:** Natural Capital Project, DNP. (2024).  
*Piloto del Marco de Contabilidad Ecosistémica del  
Sistema de Contabilidad Económico Ambiental (SCAE-  
CE), en la cuenca del río Sinú y la región del golfo  
de Morrosquillo.* Stanford University & Gobierno de  
Colombia.

Se prohíbe el uso comercial de esta publicación y tal  
podría castigarse de conformidad con las políticas y/o  
las legislaciones aplicables.

©Departamento Nacional de Planeación, 2024.  
Calle 26 No. 13-19 Bogotá, D.C.  
PBX: 601 381 5000  
[www.dnp.gov.co](http://www.dnp.gov.co)

Valoración de los  
servicios ecosistémicos del

# **RÍO SINÚ Y EL GOLFO DE MORROSKUILLO**

Aportes a la economía regional  
Informe final

Piloto del Marco de Contabilidad Ecosistémica del Sistema de Contabilidad Económico Ambiental (SCAE-CE), en la cuenca del río Sinú y la región del golfo de Morrosquillo

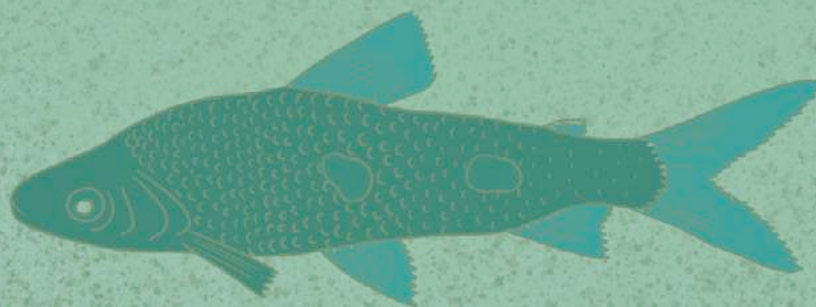
Informe final

Bogotá, 2024

# Contenido



<b>Prólogo</b> .....	6
<b>Lista de siglas</b> .....	8
<b>1. Introducción</b> .....	12
1.1 Alcance .....	14
1.2 Área focal del piloto: la cuenca del río Sinú y la región del golfo de Morrosquillo .....	15
<b>2. Consideraciones y aportes metodológicos para la asimilación e implementación del marco de Contabilidad Ecosistémica en Colombia</b> .....	18
2.1 Antecedentes.....	19
2.2 Definiciones básicas.....	20
2.3 Preliminares.....	22
2.4 Cuenta Extensión de Ecosistemas .....	23
2.5 Cuenta Flujo y uso de Servicios Ecosistémicos hídricos en unidades físicas .....	25
2.6 Cuenta Flujo y uso de Servicios Ecosistémicos hídricos en unidades monetarias .....	31
<b>3. Piloto de contabilidad ecosistémica en la región del golfo de Morrosquillo y el río Sinú</b> .....	38
3.1 Identificación de posibles beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos.....	39
3.2 Conceptualización preliminar de la importancia de los Servicios Ecosistémicos para los beneficiarios.....	39
3.3 Validación de la conceptualización de la importancia de los Servicios Ecosistémicos para los beneficiarios.....	44
3.4 Modelación matemática de los procesos biofísicos .....	45
3.5 Conceptualización de las relaciones topológicas ecosistema- Servicios Ecosistémicos .....	48
3.6 Determinación de la oferta de Servicios Ecosistémicos por activo ecosistémico .....	48
3.7 Cuantificación de la cantidad de Servicios Ecosistémicos proporcionado por cada ecosistema y que es usado por cada beneficiario .....	52



3.8 Cuantificación de los Servicios Ecosistémicos proporcionado por cada ecosistema y usado por cada beneficiario.....	54
3.9 Diligenciamiento de tablas de la cuenta 3 del marco SCAE-CE — Servicios Ecosistémicos en magnitudes físicas—.....	54
3.10 Aplicación de la valoración económica.....	59
<b>4. Discusión.....</b>	<b>66</b>
4.1 Sobre la contabilidad ecosistémica en la cuenca del río Sinú.....	67
4.2 Sobre la valoración económica de los Servicios Ecosistémicos en la cuenca del río Sinú.....	69
4.3 Otros casos de uso potencial de la contabilidad ecosistémica.....	69
<b>5. Conclusiones y posibles siguientes pasos.....</b>	<b>72</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>76</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>80</b>
Anexo 1. Resumen de la modelación de servicios ecosistémicos desarrollada.....	81
Anexo 2. Listado de fuentes de información evaluadas para identificar los insumos de la implementación de la contabilidad ecosistémica.....	85
Anexo 3. Fuentes y uso de la información utilizada en el proceso de conceptualización e identificación de posibles beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos.....	95
Anexo 4. Conceptualizaciones preliminares de la importancia de los Servicios Ecosistémicos de cantidad de agua para los beneficiarios.....	97
Anexo 5. Documento guía para contactar y llevar a cabo conversatorios con potenciales beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos del piloto.....	103
Anexo 6. Listado de reuniones que se sostuvieron con representantes de los potenciales beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos.....	109

# Prólogo

La planeación debe tener presente las necesidades de las comunidades, la protección ambiental y la vida de las personas. Este es un postulado aparentemente sencillo que tiene implicaciones profundas en la manera en que nos relacionamos los unos con los otros, con el territorio y con el ambiente; es imperativo reconocer la necesidad de replantearnos la relación que tenemos en torno al agua, la manera en que cada una de nuestras comunidades accede a los beneficios que ofrece este recurso y cómo eliminamos los perjuicios asociados a la contaminación, que afectan el buen vivir, buscando aliviar las injusticias en este contexto. El respeto por el agua, sus ciclos y los ecosistemas, nos llevará a que Colombia sea un territorio adaptado y resiliente al clima, con la provisión de los beneficios necesarios para el bienestar de la población y el fortalecimiento de la economía.

Lograr los propósitos del Gobierno nacional en torno a la relación que tienen nuestros territorios y comunidades con el agua, y con los ecosistemas que garantizan su disponibilidad adecuada, nos pide entender muy bien la forma en que se da esta relación y cómo incide en ella la política pública. Un paso fundamental en este camino, dado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), fue embarcarse en generar conocimiento e insumos para alimentar la conversación pública sobre este tema.

Al ofrecer al país esta publicación, desde el DNP buscamos divulgar la metodología y los resultados de un ejercicio piloto que se llevó a cabo con el apoyo de la Universidad de Stanford en la cuenca del río Sinú, para visibilizar y cuantificar, en términos

biofísicos y monetarios, las contribuciones que los ecosistemas de la cuenca hacen a través del agua a diferentes actividades en la zona.

Ha sido fundamental para nosotros partir de un contexto analítico riguroso y aceptado internacionalmente, como el marco de Contabilidad Ecosistémica del Sistema de Contabilidad Económico Ambiental de las Naciones Unidas (SCAE-CE), para lograr resultados comparables y armonizados con esfuerzos similares tanto a nivel nacional como internacional, que aporten en el logro de un lenguaje común para describir la interacción entre sociedad y ambiente, traducándose en mejores procesos de política pública en este contexto.

La cuenca del río Sinú ofrece una muestra valiosa de las diferentes complejidades implícitas en la relación entre el agua y las actividades humanas. Tenemos allí ecosistemas que van desde el páramo en el nudo de Paramillo, donde nace el río Sinú, hasta los manglares que protegen las costas del golfo de Morrosquillo de la erosión. También hay una variedad significativa de actividades económicas, entre ellas la ganadería, la agricultura y el turismo, entre muchas otras relevantes para esta zona. Desarrollar un piloto en este contexto enseñó muchas lecciones útiles para las metas en política pública.

Conocer la cuenca del Sinú y acercarnos a sus complejidades con este ejercicio ha requerido una articulación nación-territorio, en la que debemos agradecer el apoyo de muchos actores locales, nacionales y organismos multilaterales. Agradecemos especialmente al Departamento Administrativo

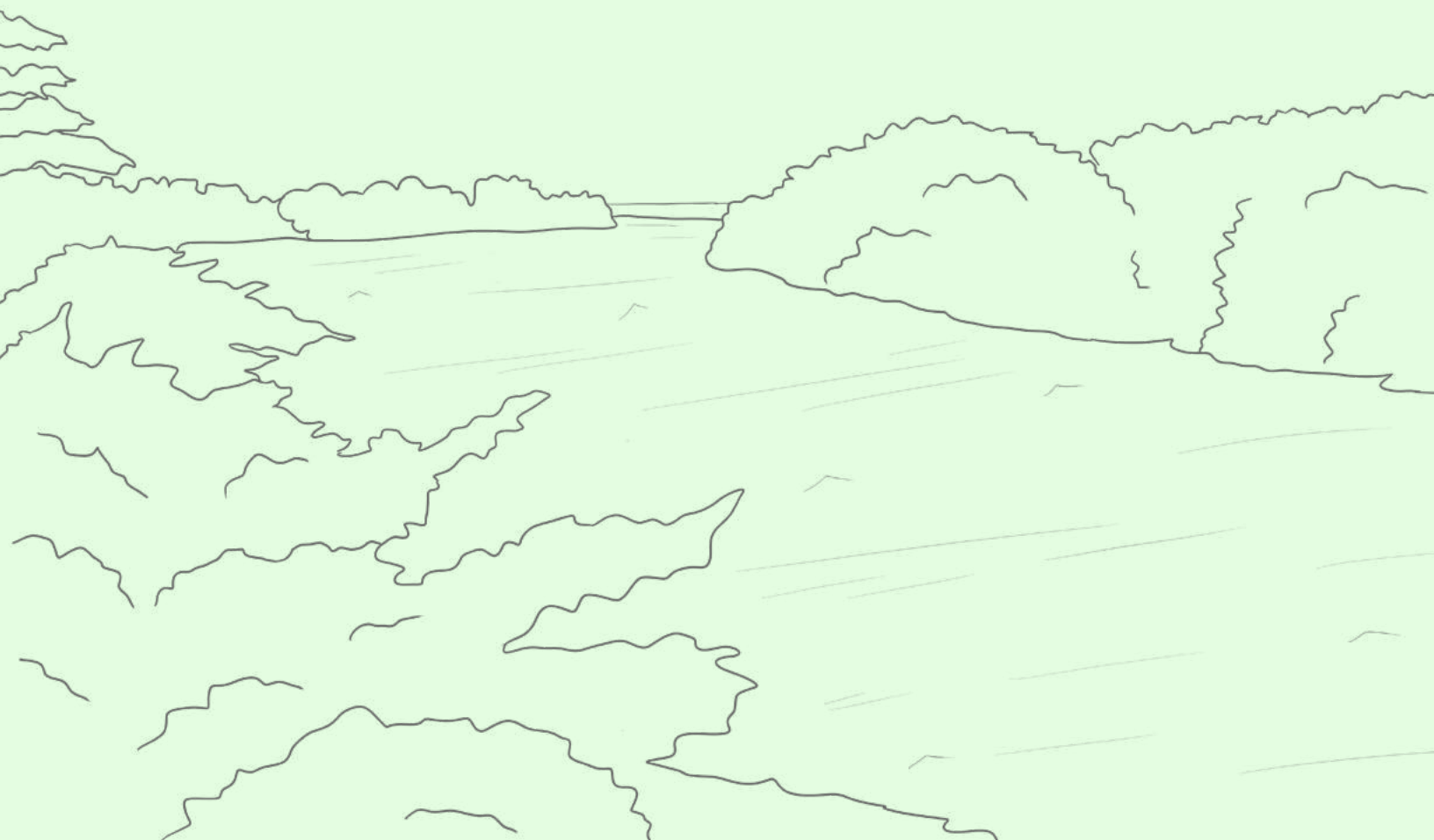
Nacional de Estadística, al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, al Banco Interamericano de Desarrollo, a la Agencia de Desarrollo Rural y a actores locales, entre ellos, la CARSucre, la CVS, la Alcaldía de Coveñas y la empresa Veolia Montería ESP. La interlocución con estos actores nos enseñó sobre la cuenca del Sinú, sus potencialidades y problemáticas, así como la forma de trabajar juntos para mejorar nuestro conocimiento y gestión de la cuenca.

Al igual que en todo ejercicio piloto, tenemos claro que hay alcances y limitaciones. Vale la pena destacar en este sentido la dificultad intrínseca que hay en asignar valores económicos a las contribuciones que los ecosistemas hacen a las personas.

Queremos enfatizar que no existe una respuesta única para esta cuestión, ni siquiera para la pregunta de si debería asignarse dicho valor, y que las conversaciones en curso deben involucrar a académicos y técnicos, pero sobre todo involucrar a las comunidades que participan en la conservación de los ecosistemas y que se benefician de sus contribuciones.

Esperamos que esta publicación sea un aporte a la construcción de consensos necesaria para la conservación decidida y el uso sostenible e incluyente a partir de la economía de la naturaleza y las funciones de los ecosistemas, aspecto fundamental para la construcción de una Colombia Potencia Mundial de la Vida.

Departamento Nacional de Planeación



# Lista de siglas

<b>ACE</b>	Área de Contabilidad Ecosistémica
<b>ADR</b>	Agencia de Desarrollo Rural
<b>AES</b>	Activos Ecosistémicos
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>CARSucre</b>	Corporación Autónoma Regional de Sucre
<b>CE</b>	Cuentas Ecosistémicas
<b>CIU</b>	Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas
<b>CO2</b>	Dióxido de Carbono
<b>CVS</b>	Corporación Autónoma Regional del Valle del Sinú
<b>DANE</b>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<b>DNP</b>	Departamento Nacional de Planeación
<b>EU</b>	Unión Europea, por sus siglas en inglés
<b>HEC</b>	Centro de Ingeniería Hidrológica en California Estados Unidos, por sus siglas en inglés
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>IGAC</b>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<b>INVEST</b>	Sistema de Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y compensaciones (INVEST, por sus siglas en inglés)
<b>IPC</b>	Índice de Precios al Consumidor
<b>MC</b>	Marco Central
<b>MW</b>	Megavatio
<b>NATCAP</b>	Proyecto de Capital Natural, Universidad de Stanford
<b>NTU</b>	NTU: Unidades nefelométricas de turbidez, por sus siglas en inglés
<b>PEB</b>	Producto Ecosistémico Bruto
<b>PND</b>	Plan Nacional de Desarrollo
<b>PNN</b>	Parques Nacionales Naturales de Colombia
<b>RAS</b>	Sistema de análisis de ríos
<b>SCAE</b>	Sistema de Contabilidad Económico Ambiental
<b>SCAE-CE</b>	Sistema de Contabilidad Económico Ambiental – Cuentas Ecosistémicas
<b>SCAE-MC</b>	Sistema de Contabilidad Económico Ambiental – Marco Central
<b>SDR</b>	Relación de entrega de sedimentos (SDR, por sus siglas en inglés)
<b>SE</b>	Servicios Ecosistémicos
<b>SWY</b>	Rendimiento de agua estacional (SWY, por sus siglas en Inglés)
<b>UN/ONU</b>	Organización de Naciones Unidas
<b>WAVES</b>	Contabilidad del Bienestar y Valoración de los Servicios Ecosistémicos, el término original en inglés es “Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services”

# Lista de diagramas

Diagrama conceptual preliminar 3-2. Importancia del SE de retención de sedimentos para la hidroeléctrica de Urrá I .....	41
Diagrama conceptual preliminar 3-3. Importancia del SE de retención de sedimentos para agricultores que captan el agua principalmente del río Sinú.....	42
Diagrama conceptual preliminar 3-4. Importancia del SE de retención de sedimentos para beneficiarios que no captan el agua del río Sinú, y que en su mayoría son campesinos .....	43
Diagrama conceptual preliminar 3-5. Importancia del SE de retención de sedimentos para pescadores de la zona.....	43
Diagrama conceptual preliminar A1. Importancia del SE de mantenimiento de caudales bajos y suministro de agua en cantidad para la hidroeléctrica de Urrá I .....	97
Diagrama conceptual preliminar A2. Importancia del SE de flujos bajos para los beneficiarios que captan el agua a través de sistemas de acueductos.....	98
Diagrama conceptual preliminar A3. Importancia del SE de mantenimiento de caudales bajos para agricultores que captan el agua a principalmente del río Sinú .....	99
Diagrama conceptual preliminar A4. Importancia del SE de mantenimiento de caudales bajos para campesinos (i. e. con bajo nivel de capital-tecnificación para acceder al agua).....	100
Diagrama conceptual preliminar A6. Importancia del SE de suministro de agua en cantidad para los beneficiarios que captan el agua a través de sistemas de acueductos.....	101
Diagrama conceptual preliminar A7. Importancia del SE de suministro de agua en cantidad para campesinos (i.e., con bajo nivel de capital-tecnificación para acceder al agua).....	102
Diagrama conceptual preliminar A8. Importancia del SE de suministro de agua para beneficiarios que captan agua subterránea de pozos profundosFuente: Elaboración propia.....	102

# Lista de figuras

Figura 1-1. Mapa de la cuenca del río Sinú y Región del golfo de Morrosquillo.....	17
Figura 2-1. Flujograma de cuentas ecosistémicas del marco SCAE-CE.....	21
Figura 2-2. Periodo de información utilizada con relación al año 201623	
Figura 2-3. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo .....	24
Figura 2-4. Metodología propuesta para la contabilización de flujos de SE en unidades físicas en una Área de Contabilidad Ecosistémica - Cuenta 3.....	26
Panel a. Uso y cobertura del suelo / cobertura del suelo dentro de la ACE, basado en IDEAM, 2018...	46
Panel b. Unidades del mapa de ecosistemas en la ACE.....	46
Figura 3-1. Resultados de modelos calibrados que representan los procesos biofísicos relevantes para la estimación de SE .....	46
Figura 3-2. Provisión anual de agua y aportes de agua en la cuenca en 2018.....	47
Panel a. Provisión anual de agua (mm) en 2018 .....	47
Panel b. Exportación anual de sedimentos evitada en 2018 (toneladas).....	47
Figura 3-3. Metodología de cálculo para la estimación del SE de retención de sedimentos y de su distribución entre los distintos beneficiarios .....	55
Figura 3-4. Diagrama de Sankey de la Cuenta 3. Flujo del Servicios Ecosistémicos hídrico de erosión evitada y retención de sedimentos en unidades físicas, de la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo .....	58
Mapa A1. Localización de las cuatro estaciones hidrológicas utilizadas para la calibración de los modelos de InVEST .....	82

# Lista de tablas

Tabla 2-1. Métodos de valoración económica ordenados según la metodología de UN-SCAE .....	31
Tabla 3-1. Oferta de SE de erosión evitada y retención de sedimentos por tipo de ecosistema y subzona hidrográfica.....	49
Tabla 3-2. Oferta de Servicios Ecosistémicos de suministro de agua medio anual en cantidad por tipo de ecosistema y subzona hidrográfica.....	50
Tabla 3-3. Oferta de Servicios Ecosistémicos de mantenimiento de caudales bajos para el periodo diciembre-marzo (época seca) por tipo de ecosistema y subzona hidrográfica.....	51
Tabla 3-4. Cuenta 3. Flujo de Servicios Ecosistémicos hídricos en unidades físicas, de la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo.....	56
Tabla 3-5. Valoración económica anual para el servicio ecosistémico de retención de sedimentos a los acueductos para el total de la cuenca del Rio Sinú.....	61
Tabla 3-6. Cuenta 4: Flujo de Servicios Ecosistémicos.....	64
Tabla 4-1. Consolidado de los Servicios Ecosistémicos propuestos para el piloto y de los potenciales beneficiarios identificados para el Área de Contabilidad Ecosistémica para el año contable .....	68
Tabla A1. Fuentes de los datos de entrada para el modelo Seasonal Water Yield de InVEST.....	83
Tabla A2. Fuentes de datos de entrada para el modelo InVEST Sediment Delivery Ratio	85
Tabla A3. Coberturas Bosque -No bosque .....	85
Tabla A4. Mapa de suelos del departamento de Antioquia .....	86
Tabla A5. Mapa de suelos del departamento de Bolívar.....	87
Tabla A6. Mapa de suelos del departamento de Córdoba.....	88
Tabla A7. Mapa de suelos del departamento de Sucre .....	89
Tabla A8. Sistemas acuíferos de Colombia.....	89
Tabla A9. Información catastral.....	90
Tabla A10. Mapa nacional de ecosistemas continentales y costeros de Colombia .....	91
Tabla A11. Censo nacional de población y vivienda 2018.....	92
Tabla A12: Otras fuentes de Información consideradas .....	93
Tabla A13. Fuentes y uso de información .....	95

1

# Introducción



Este informe presenta los principales resultados del proyecto “Piloto del Marco de Contabilidad Ecosistémica<sup>1</sup> del Sistema de Contabilidad Económico Ambiental (SCAE-CE), en la cuenca del río Sinú<sup>2</sup> y de la región del golfo de Morrosquillo”, desarrollado en el marco de la colaboración entre el proyecto de Capital Natural de la Universidad de Stanford (USA) y el Departamento Nacional de Planeación de Colombia.

El marco del SCAE-CE es la más reciente contribución al desarrollo y adopción de instrumentos de contabilidad económica-ambiental. Su propósito es contabilizar de manera sistemática y estandarizada interconexiones entre el funcionamiento de la naturaleza y múltiples aspectos del bienestar social y la productividad económica. A través de su implementación se busca hacer explícito el rol de los ecosistemas presentes en un paisaje —como bosques, sabanas, humedales, manglares, etc.— en aspectos del bienestar humano, en particular, el suministro de agua de calidad adecuada para consumo, la mitigación del cambio climático, condiciones de vida satisfactorias —por ejemplo, belleza, oportunidades de recreo— y la conservación de opciones —por ejemplo, de la conservación de biodiversidad—, entre muchos otros. A pesar de su importancia, tales beneficios muchas veces no se conocen bien<sup>3</sup>, apenas se controlan y, en muchos casos, sufren una rápida degradación y agotamiento. La Contabilidad Ecosistémica, incluido el SCAE-CE, es un marco de información que busca contribuir al conocimiento de estos beneficios y monitorear cómo pueden modificarse en el tiempo, respondiendo preguntas como:

- **¿De dónde vienen los beneficios con respecto al paisaje?** Se mide contabilizando los ecosistemas presentes en una región, con una extensión y condición determinadas; y los beneficios que suministran a través de su funcionamiento.
- **¿Cuánto valor/beneficio proporcionan los ecosistemas a los diferentes sectores y beneficiarios?** Se determina cuantificando la demanda y utilización por la sociedad de los beneficios originados en el funcionamiento de los ecosistemas; y los beneficios o productividad asociados.
- **¿Cómo han cambiado con el tiempo, en términos biofísicos y monetarios?** Se conoce estableciendo un marco sistemático de monitoreo y seguimiento de los ecosistemas; y los flujos de beneficios.

Por otra parte, si bien los datos e información estructurados en el SCAE-CE se basan sobre todo en el análisis de condiciones presentes y retrospectivas, las herramientas y métodos de análisis que se aplican en la cuantificación de los activos y flujos de beneficios pueden contribuir también a apoyar los procesos de toma de decisiones de gobiernos, instituciones, empresas y personas, comprendiendo el cambio bajo diferentes escenarios futuros y diferentes decisiones de manejo. Por ejemplo, las agencias gubernamentales pueden incluir consideraciones de ordenamiento del territorio para mantener o mejorar el funcionamiento de los ecosistemas, o para ayudar a diseñar programas de permisos, mitigación o conservación que eviten la pérdida de los

1 En algunos casos también referido como *Contabilidad de Ecosistemas*. El término original en inglés es *Ecosystem accounting*.

2 La cuenca del río Sinú se extiende desde su nacimiento en el páramo de Paramillo hasta su desembocadura en el mar Caribe en la zona del golfo de Morrosquillo.

3 Este aspecto, en el contexto de las Áreas Protegidas de Colombia, ha sido identificado como una problemática por resolver en función de la *Política Nacional del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)*, Documento CONPES 4050.

beneficios que la sociedad obtiene actualmente de la naturaleza, alineando el trabajo relacionado con la protección de la biodiversidad con actividades que mejoren los medios de vida humanos.

Un aspecto clave de la contabilidad de los ecosistemas es que permite expresar en términos físicos y monetarios las contribuciones de los ecosistemas al bienestar de la sociedad. Por una parte, las contribuciones de flujos físicos aportan al entendimiento de las dependencias directas de las personas al correcto funcionamiento de los ecosistemas. En cuanto a las estimaciones monetarias, pese a ser inherentemente subestimaciones del valor de la naturaleza en la medida que no a todos los aspectos de los beneficios puede dárseles valores económicos, sí proporcionan información comprensible y con capacidad de negociación por parte de los responsables de la toma de decisiones sobre diferentes componentes de las cadenas de valor que dependen del funcionamiento de los ecosistemas. Por ejemplo, el valor derivado por el acceso suficiente y confiable

de agua en cantidad y calidad, o la mitigación de los riesgos climáticos. En este contexto se convierten en la base para analizar:

- **La planificación de políticas económicas**, al demostrar la medida en que la viabilidad y productividad de sectores y actividades humanas está ligada a las funciones de los ecosistemas.
- **El análisis costo-beneficio**, pues permite cuantificar las contribuciones del funcionamiento de los ecosistemas, o internalizar las pérdidas asociadas a los impactos ambientales en los ecosistemas, en la viabilidad económica de los proyectos y cadenas de valor sectoriales.
- **La formulación de instrumentos de gestión**, orientadas a garantizar la compatibilidad de las actividades económicas, evitar la degradación de los procesos y garantizar el funcionamiento de los ecosistemas.

## 1.1 Alcance

La implementación de este piloto del marco SCAE-CE se enfocó en la región de la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo; ello con el fin de continuar con la implementación de la Contabilidad Ecosistémica como parte de la colaboración entre el DNP y el Proyecto de Capital Natural de la Universidad de Stanford (DNP y NatCap, 2021), quienes desarrollaron previamente una investigación para identificar el papel de los ecosistemas estratégicos de la región —los manglares y los bosques—, en la provisión de beneficios entre los que destacan la reducción de riesgos de erosión e inundaciones costeras, almacenamiento de carbono y en el mantenimiento de la cantidad y la calidad de agua. Durante el desarrollo del presente ejercicio, se cumplieron las siguientes actividades:

1. **Asimilación del Marco de SCAE-CE al caso de Colombia**, proponiendo aportes al diseño metodológico para la implementación de la Contabilidad Ecosistémica en los niveles regional y subnacional.
2. **Desarrollo de un piloto de implementación de las cuentas de 1:** (1) extensión de ecosistemas, (2) flujo de SE en unidades biofísicas, y (3) flujo de SE en unidades monetarias. La región focal son las cuencas del río Sinú y la subzona hidrográfica denominada Directos Caribe Golfo de Morrosquillo; y considera los SE hídricos de mantenimiento de flujo base, provisión de agua en cantidad y retención de sedimentos.

Dado lo anterior, el presente documento se estructura de la siguiente forma: en el capítulo 2 se sintetizan, además de generalidades y conceptos claves del marco SCAE-CE, las consideraciones y aportes metodológicos para la asimilación e implementación del marco de Contabilidad Ecosistémica en Colombia. En el capítulo 3 se describe la metodo-

logía y los resultados del piloto de Contabilidad Ecosistémica en la región del golfo de Morrosquillo y el río Sinú, mientras que en el capítulo 4 se expone la discusión sobre dichos resultados. Finalmente, en el capítulo 5 se plantean las principales conclusiones y perspectivas a futuro respecto de los resultados.

## 1.2 Área focal del piloto: la cuenca del río Sinú y la región del golfo de Morrosquillo

La región Sinú-Morrosquillo está localizada al noroccidente de Colombia y la componen dos zonas: (1) la cuenca del río Sinú y (2) la región del golfo de Morrosquillo. Ambas entregan sus aguas al mar Caribe. La primera mediante el río Sinú y en la segunda a través de varias corrientes que drenan directamente al mar (figura 1-1). La cuenca del río Sinú tiene una extensión de 14.086 km<sup>2</sup>, mientras que la región del golfo de Morrosquillo tiene una extensión de 2.504 km<sup>2</sup>. La cuenca del río Sinú nace a los 3.660 m.s.n.m., mientras que el punto más alto de la región de Morrosquillo está a los 680 m s.n.m.

De acuerdo con la zonificación hidrográfica del IDEAM, la cuenca del río Sinú corresponde a la zona hidrográfica denominada Sinú (13), la cual, a su vez, está conformada por las subzonas hidrográficas Alto Sinú - Urrá (1301), Medio Sinú (1302) y Bajo Sinú (1303). Por su parte, la región del golfo de Morrosquillo corresponde a la subzona hidrográfica Directos Caribe Golfo de Morrosquillo (1205), la cual, hace parte de la zona hidrográfica Caribe - Litoral (12).

La cuenca del río Sinú se extiende por Córdoba, Antioquia y Sucre, de ellos es en el primer departamento donde se localiza su mayor parte. Está distribuida en el territorio de 26 municipios, entre los cuales se incluye Montería, capital del departamento de Córdoba. Algunos municipios están contenidos en su totalidad dentro de la cuenca, mientras que

otros únicamente comparten extensiones menores con dicha área. Por su parte, la región del golfo de Morrosquillo se extiende en Sucre, Córdoba y Bolívar, de ellos es el primer departamento el que comprende la mayor parte. Así mismo, está distribuida en el territorio de 16 municipios, incluida el área rural de Sincelejo, capital del departamento de Sucre. Igualmente, varios de los 15 municipios acogen no están contenidos en su totalidad dentro de la región.

A partir de la información geográfica del censo realizado por el DANE en 2018 (DANE, 2018) se estima que la zona de estudio contaba con una población de 1.295.469 habitantes. En la cuenca del río Sinú en dicho año se tendría una población de 1.094.170 personas, mientras que la región de Morrosquillo la cifra sería de 201.299 personas (DANE, 2018).

En la cuenca del río Sinú está ubicado el embalse de Urrá I, que entre sus propósitos principales tiene la mitigación de inundaciones de las zonas medias y bajas de la cuenca y la generación hidroeléctrica; esta última cuenta con una capacidad instalada de 340 MW y representa cerca del 2 % de la demanda de energía del país (Urrá, 2022).

En la zona hidrográfica del río Sinú la presión sobre el recurso hídrico, en general, es alta. De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua de 2018 (IDEAM, 2019)

para el año hidrológico medio en las subzonas hidrográficas Alto Sinú, Medio Sinú y Bajo Sinú el índice de uso de agua es “moderado”, “alto” y “muy alto”, respectivamente. No obstante, en el año hidrológico seco, dicho índice se hace “alto”, “alto” y “crítico”. En cuanto a la región de Morrosquillo, en ambos años hidrológicos el índice de uso de agua es “alto”.

También se destacan los acuíferos del valle del río Sinú y El Cerrito (Tabares Ocampo, 2003), mientras

que en la región del golfo de Morrosquillo afloran los acuíferos de Morrosquillo, Toluviejo, El Cerrito y Morroa (Vargas Quintero, 2022). Varios municipios de la zona se abastecen del agua subterránea (IDEAM, 2019). Particularmente, el caso del acuífero de Morroa es preocupante, pues la Corporación Autónoma Regional de Sucre (CarSucre, 2017) reporta extracciones entre 1.000 y 1.200 L/s, mientras que la recarga variaría entre 45 y 75 L/s.



Figura 1-1. Mapa de la cuenca del río Sinú y Región del golfo de Morrosquillo



Fuente: Elaboración propia con base en datos de IDEAM e IGAC, 2023.



2

Consideraciones y aportes metodológicos para la asimilación e implementación del marco de Contabilidad Ecosistémica en Colombia



## 2.1 Antecedentes

Colombia ha avanzado de manera sostenida por varias décadas en el desarrollo de marcos de información ambiental y económicos integrados, que entreguen, entre otros, resultados para las cuentas nacionales de agua, bosques y recursos mineral-energéticos en el contexto de lo que se conoce como el **Marco Central del Sistema de Contabilidad Económico-Ambiental, o SCAE-MC** (DANE, 2012-2021). Esta contabilidad es un instrumento relevante para comprender las interacciones entre la disponibilidad de recursos naturales y la actividad económica nacional, determinando su estado, tendencias y relaciones clave.

A su vez, Colombia ha avanzado a nivel piloto en el desarrollo de marcos de análisis que consideran de una manera más explícita los ecosistemas, por ejemplo, el proyecto Waves que tuvo una perspectiva nacional y regional. La perspectiva nacional desarrolló, junto con el DANE, el Ideam y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, las cuentas de agua y bosque publicadas interinstitucionalmente, al igual que la aproximación preliminar a la medición de la cuenta de activos de la tierra. En el ámbito regional se desarrollaron pilotos regionales de medición de ecosistemas concentrados en analizar la provisión de agua y la producción agrícola y forestal en el Orinoco, el lago de Tota, el río Alto Suárez y el río Chinchiná (Waves, 2016).

Todos estos avances, sumados a los pilotos desarrollados en diferentes países alrededor del globo, se han concretado en la más reciente definición del nuevo **Marco de Contabilidad Ecosistémica, SCAE-CE** (United Nations *et al.*, 2021). Tanto el SCAE-CE como el SCAE-MC son enfoques para medir las interacciones entre el medio ambiente y la economía, pero cabe destacar algunas diferencias:

- **Alcance.** El SCAE-MC pretende integrar los datos ambientales y económicos para

ofrecer una imagen nacional de la economía y los recursos naturales —por ejemplo, agua, madera, recursos minerales—. Por su parte, el SCAE-CE se centra específicamente en la medición de los ecosistemas —bosques, ríos, humedales, páramos, corales, etc.—; y en establecer y valorar los bienes y servicios que se originan en su funcionamiento propio —por ejemplo, asignando funciones de regulación, provisión, soporte y culturales—. A su vez, se focaliza en cuantificar los efectos de la actividad económica sobre los ecosistemas.

- **Ámbito de análisis.** El SCAE-CE adopta un enfoque espacial de la contabilidad, considerando la localización de los ecosistemas en el paisaje en relación con los beneficiarios. Por el contrario, el SCAE-MC se centra en los activos ambientales individuales (recursos), entre ellos, el agua o los recursos energéticos, agregados a escalas nacionales.
- **Valoración.** El SCAE-CE, no solo se enfoca en contabilizar la cantidad (extensión) de ecosistemas, sino también en su condición. En consecuencia, el marco busca reflejar las interacciones económicas-ambientales desde la perspectiva de la influencia de la economía en la “salud” de los ecosistemas.

Un ejemplo claro de las diferencias entre los dos marcos de contabilidad del SCAE es la contabilidad del agua. El SCAE-MC provee la visión general del agua como recurso; es decir, permite cuantificar la oferta, el suministro y uso por diferentes actividades y sectores económicos, permitiendo inferir relaciones y tendencias entre su disponibilidad y utilización, y la productividad y eficiencia del uso del agua (DANE, 2022). Por su parte, el SCAE-CE provee una perspectiva complementaria del recurso, al mostrar la dependencia de la cantidad y la calidad del agua, a la

### localización, extensión, condición y funcionamiento de los ecosistemas en un territorio determinado.

Por ejemplo, cuantificando el rol de la vegetación y el suelo de los ecosistemas de bosques nativos y páramos en procesos como el control de la erosión y la retención de sedimentos, la protección, generación y mantenimiento de los suelos, la recarga de

aguas subsuperficiales, etc., que, a su vez, se reflejan en muchos otros beneficios, entre ellos, el mantenimiento de caudales bajos durante las estaciones secas, la reducción de las concentraciones de sedimentos en las fuentes de agua, mejores condiciones de calidad de agua en términos de asimilación de nutrientes y patógenos.

## 2.2 Definiciones básicas

A continuación, se presenta un resumen de algunos de los puntos más relevantes del SCAE-CE. Una descripción detallada se presenta en el documento oficial publicado por Naciones Unidas en septiembre de 2021 (United Nations et al., 2021).

El SCAE-CE corresponde a un marco estadístico integrado y de base espacial para organizar la información biofísica de los ecosistemas, medir los SE, monitorear los cambios en la extensión y condición de los ecosistemas, valorar los servicios y activos ecosistémicos y vincular esa información a las medidas de la actividad económica y humana. Así se busca hacer visibles las contribuciones de la naturaleza a la economía y a las personas, registrar los impactos de las actividades humanas al ambiente, y apoyar la toma de decisiones.

El objeto central de la contabilidad del SCAE-CE son los ecosistemas y los SE, en el cual se consideran las siguientes definiciones:

- Los **Ecosistemas**, para los cuales el SCAE-CE adopta la definición del Convenio para la Diversidad Biológica (CDB), según el cual un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y su entorno abiótico que interactúan como una unidad funcional (United Nations et al., 2021).

- El **Área de Contabilidad Ecosistémica (ACE)**, que corresponde al territorio geográfico para el cual la contabilidad ecosistémica se lleva a cabo.
- Los **Activos Ecosistémicos (AE)**, que corresponden a espacios contiguos de un tipo específico de ecosistema.
- Los **Servicios Ecosistémicos (SE)**, entendidos como las contribuciones de los ecosistemas a los beneficios usados en las actividades económicas y en otro tipo de actividades humanas. Así mismo, los beneficios son definidos como los bienes y servicios finalmente usados y disfrutados por las personas y la sociedad.

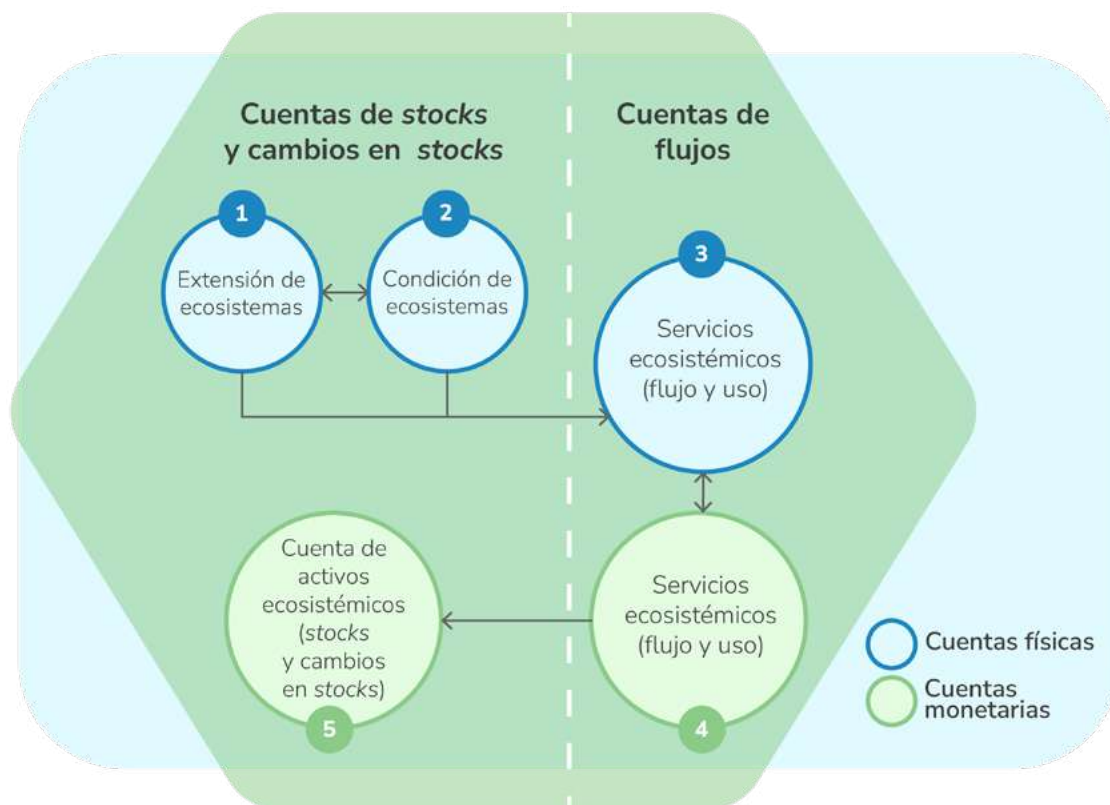
Para realizar la contabilidad, el SCAE-CE utiliza el concepto de **Cuentas Ecosistémicas**. Estas se presentan de manera gráfica en la figura 2-1, e incluyen cinco cuentas.

- Las cuentas de **Extensión de los Ecosistemas** (1) registran la superficie total de cada ecosistema, clasificada por tipo dentro de un área específica —área de contabilidad ecosistémica, en este caso la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo—, y por tipo de ecosistema, ilustrando así la extensión de cada tipo de ecosistema y los cambios a lo largo del período contable.

- Las cuentas de **Condición de los Ecosistemas** (2) registran la condición de los activos de los ecosistemas en términos de características seleccionadas en puntos específicos del tiempo, a lo largo del cual registran los cambios en su estado y proporcionan una valiosa información sobre la salud de los ecosistemas.
- Las cuentas de **Flujo de los Servicios de los Ecosistemas** (SE), físicas (3) y monetarias (4) registran el suministro de servicios de los ecosistemas por parte de sus propios activos y el uso de esos servicios por parte de las unidades económicas, incluidos los hogares.
- Las cuentas monetarias de los **Activos de los Ecosistemas** (5) registran la información sobre las existencias y sus cambios (adiciones y reducciones) de los activos de los ecosistemas; incluye la contabilización de la degradación y la mejora de los ecosistemas.

Así, la contabilidad se lleva a cabo por cada tipo de ecosistema ubicado dentro de una determinada Área de Contabilidad Ecosistémica. Las cuentas 1, 2 y 5 corresponden a activos ecosistémicos, mientras que las cuentas 3 y 4 a flujos de SE. Igualmente, pueden ser clasificadas entre las de índole física y las de índole monetaria, que quedan dentro del primer grupo las cuentas 1,2 y 3, y en el segundo las cuentas 4 y 5.

Figura 2-1. Flujograma de cuentas ecosistémicas del marco SCAE-CE



Fuente: Modificado de UN (2021).

El SCAE-CE está alineado con los principios de contabilidad del Sistema de Cuentas Nacionales 2008 (European Commission et al., 2009); por tanto, busca que las cuentas sean estandarizadas, estructuradas, integradas, coherentes, consistentes, comparables y que se consignen de manera regular. A su vez, el SCAE-CE es exhaustivo en términos de la cobertura de los ecosistemas puesto que incluye los ecosistemas terrestres, de agua dulce, marinos y subterráneos. El marco se focaliza en los usos directos e indirectos de los ecosistemas; sin embargo, se aclara que únicamente abarca parte de la importancia de los ecosistemas, y que las valoraciones obtenidas mediante dicho marco no deben entenderse como el valor de la naturaleza.

Este capítulo plantea una serie de pasos metodológicos que describen el proceso de implementación del SCAE-CE, para dar respuesta a las siguientes preguntas.

- ¿En el contexto de la información ambiental en Colombia, qué tipo de información es necesaria y está disponible para implementar la CE?
- ¿Cómo identificar las Áreas de Contabilidad Ecosistémica?
- ¿Qué períodos utilizar para el cálculo de la contabilidad? Y ¿cómo determinar el año nominal de la contabilidad?
- ¿Qué “línea base” debe escogerse para cada servicio?
- ¿Cómo representar y cuantificar los procesos biofísicos de los ecosistemas relevantes para la cuantificación de los servicios?
- ¿Cómo establecer los valores de los servicios en unidades biofísicas?
- ¿Cómo valorar económicamente bienes y servicios?

## 2.3 Preliminares

Antes de iniciar el proceso de cuantificación de cada una de las cinco cuentas que conforman el marco SCAE-CE es necesario establecer el Área de Contabilidad Ecosistémica, para qué periodo contable se calculará y qué unidades espaciales de ecosistemas se utilizarán como activos ecosistémicos.

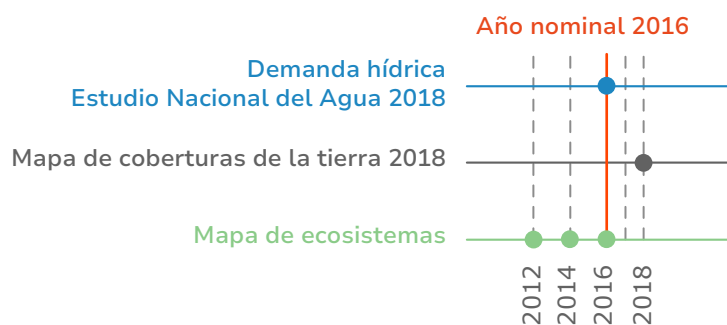
En el caso del piloto, el Área de Contabilidad Ecosistémica correspondió a la región comprendida por las subzonas hidrográficas Alto Sinú - Urrá (1301), Medio Sinú (1302) y Bajo Sinú (1303) y Directos Caribe Golfo de Morrosquillo (1205), indicadas en la figura 2-1.

En cuanto al periodo contable, se utilizó un año que nominalmente se denominará 2016. Se aclara que es nominal, pues no es una representación exacta de la condición de dicho año, sino más bien de un periodo que oscila alrededor de este. En la figura 2-2 se muestra parte de las fuentes de información más relevantes para llevar a cabo la contabilidad y no corresponden exactamente al año 2016. En el caso de las magnitudes económicas sí se les hicieron los ajustes, llevando toda la información al año 2016. No obstante, en caso de adoptarse el marco, deberían aplicarse los respectivos ajustes prospectivos o retrospectivos.

Como activos ecosistémicos fueron utilizadas las unidades espaciales correspondientes al nivel “Ecosistema Síntesis” del mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia 2017<sup>4</sup>. Dentro del Área de Contabilidad Ecosistémica tienen presencia 21 categorías en este nivel, las cuales corresponden a 20 ecosistemas y 1 categoría “Sin Información” (figura 2-2)

Este ejercicio se focalizó en las cuentas de extensión de ecosistemas (cuenta 1) y de SE en magnitudes físicas y monetarias (cuentas 3 y 4). La cuenta de condición de ecosistemas (cuenta 2) no se circunscribe a un tipo de SE —como los SE hídricos— sino que busca contabilizar la condición del ecosistema como un todo. Para evaluar dicha condición se requiere la construcción de categorías e indicadores, los cuales no han sido desarrollados para Colombia. Dicha tarea excede el alcance del presente piloto.

Figura 2-2. Periodo de información utilizada con relación al año 2016



Fuente: Elaboración propia.

## 2.4 Cuenta Extensión de Ecosistemas

Esta cuenta registra el tamaño de los Activos Ecosistémicos (AE) dentro del Área de Contabilidad Ecosistémica y los cambios ocurridos en dicha variable durante un periodo contable. Para registrar AE, típicamente se hace uso del área de los activos ecosistémicos, aunque en algunos casos también puede recurrirse a las longitudes o los volúmenes de estos.

Para efectos de la contabilidad, el SCAE-CE propone cuatro principios que deben seguir las delimitaciones de los AE: (1) deben representar ecosis-

temas, siguiendo así la mencionada definición de la Convención sobre la Diversidad Biológica; (2) deben poderse mapear; (3) deben ser geográfica y conceptualmente exhaustivos, y (4) deben ser mutuamente excluyentes, tanto conceptual como geográficamente.

En el caso colombiano, el **mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos** resulta ser el insumo idóneo para calcular la extensión de ecosistemas. Para poder cumplir el cálculo de esta cuenta

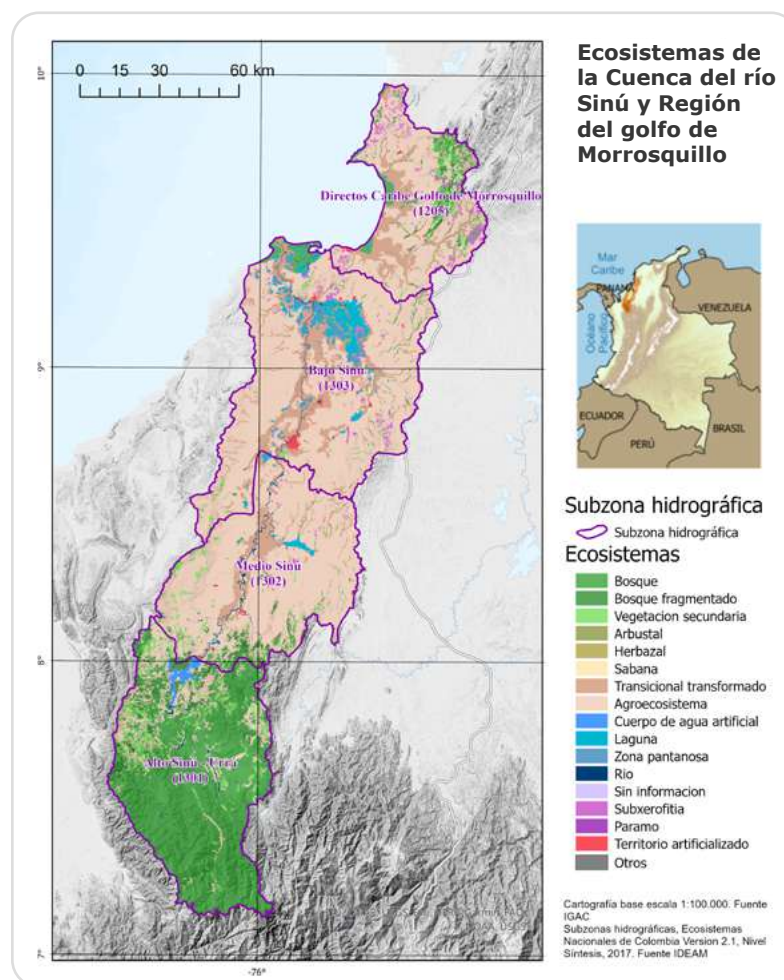
4 <http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas>

se requiere información de la extensión de los ecosistemas en dos momentos: al inicio y al final del periodo contable. No obstante, únicamente se tuvo acceso a la versión 2.1 del Mapa de ecosistemas de 2017 (figura 2-3). Es decir, tan sólo se contó con una de las dos fuentes de información requeridas para hacer la comparación. Tal situación no permitió calcular la totalidad de la cuenta 1 para este piloto.

Dentro de la Memoria Técnica del Mapa de ecosistemas versión 2.1 se indican los esfuerzos que el

país ha efectuado para llegar a los niveles actuales de estandarización de los métodos para elaborar los mapas y la leyenda de ecosistemas, representativa de la biodiversidad del país. Por ello, el Mapa constituye el insumo que debe ser elaborado de manera sistemática a fin de garantizar el cálculo de la cuenta. Al considerar lo anterior, se resalta que la frecuencia y el periodo contable para la medición de la extensión de ecosistemas dependen directamente de los procesos de actualización del insumo.

Figura 2-3. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo



Fuente: Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, versión 2.1 (2017), al nivel de ecosistema síntesis utilizados como activos ecosistémicos en el presente piloto. Adaptado de IDEAM, 2017.

Como unidad espacial de activos ecosistémicos para esta cuenta, se recomienda utilizar el nivel correspondiente a “Ecosistema Síntesis” —según las unidades indicadas en la figura 2-4—. Sin

embargo, el nivel de detalle puede ser seleccionado en función de la escala espacial del Área de Contabilidad Ecosistémica y del nivel de precisión que requiera la contabilidad.

## 2.5 Cuenta Flujo y uso de Servicios Ecosistémicos hídricos en unidades físicas

El SCAE-CE define los flujos de SE como el “flujo físico o ecológico de un servicio ecosistémico entre un ecosistema y los beneficiarios de dicho servicio”. En otras palabras, se refiere a las conexiones desde el entorno natural hasta las personas o actividades que se benefician de él. Para evaluar esas conexiones se requiere distinguir entre el suministro y el uso: el suministro se refiere al flujo de SE desde el ecosistema, mientras que el uso se refiere a los beneficiarios humanos o la economía.

Por ejemplo, un ecosistema forestal puede proporcionar un suministro de almacenamiento de carbono, como servicio ecosistémico a la economía global; a su vez, puede proporcionar un flujo de uso de oportunidades recreativas como servicio ecosistémico a los beneficiarios humanos localizados en el área de influencia, que pueden visitar el bosque y disfrutar de actividades al aire libre, entre otras, el senderismo, la observación de aves. Asimismo, puede proveer un flujo de beneficios asociados a la cantidad o calidad del agua a personas localizadas aguas abajo de la cuenca hidrográfica o en los acuíferos. Los SE del recurso hídrico presentan ciertas características específicas para la cuantificación de dichos flujos. Primero, a diferencia de otros marcos que solían entender el agua como un SE de aprovisionamiento, entre ellas, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), el marco SCAE-CE conceptualiza el agua como un flujo abiótico. Así pues, lo

que el SCAE-CE entiende realmente como servicio ecosistémico es la influencia de los ecosistemas en el agua, y no el agua *per se*<sup>5</sup>. Esto implica que el ejercicio de cuantificación requiere “aislar” el efecto de un ecosistema sobre el agua.

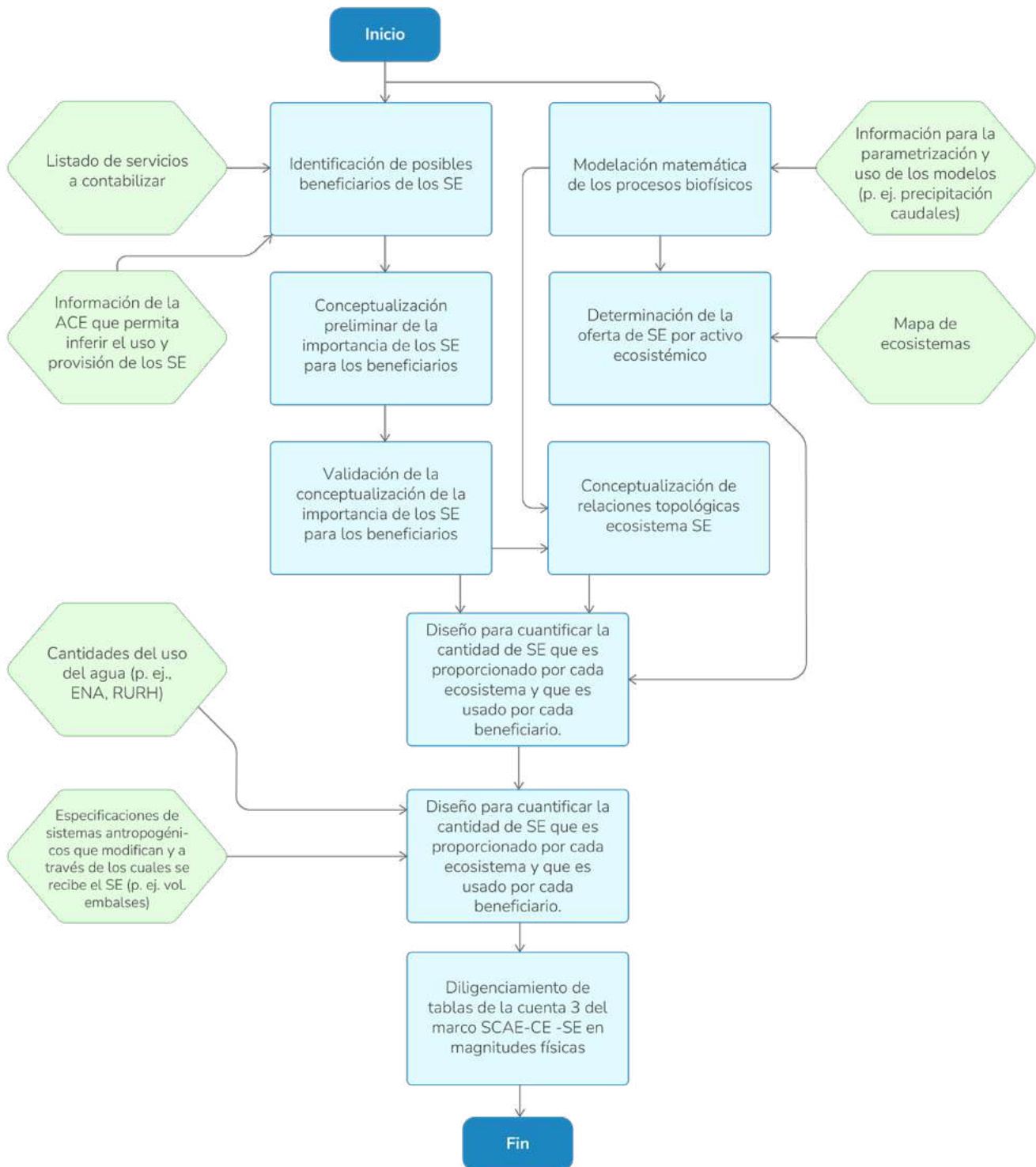
Por ejemplo, la vegetación de los ecosistemas influye en la respuesta de las cuencas hídricas a la precipitación y la temperatura, atenuando aspectos de la variabilidad de los caudales y contribuyendo a la conservación e integridad de la estructura de los suelos. Los árboles y demás vegetación interceptan las precipitaciones y contribuyen a la infiltración en el suelo, recargando las aguas subterráneas que pueden mantener el caudal de los arroyos y ríos durante épocas sin lluvia. La vegetación y el suelo también actúan como filtros naturales, capturando y asimilando contaminantes y nutrientes que de otro modo podrían acabar en arroyos y ríos.

Estos beneficios, deben ser evaluados respecto a la manera de usarlos en las actividades económicas y en otro tipo de actividades humanas. Tal conceptualización, en el caso de los flujos de agua, tiene implicaciones decisivas para su cuantificación. Dada la forma como ocurren los flujos de agua en las cuencas, en muchos casos la existencia y funcionamiento de algunos sistemas pueden determinar si un servicio ecosistémico está disponible para beneficiarios aguas abajo o no. Por ejemplo, pueden existir

5

La cuantificación del agua *per se*, se calcula a través del SCAE-MC.

Figura 2-4. Metodología propuesta para la contabilización de flujos de SE en unidades físicas en una Área de Contabilidad Ecosistémica - Cuenta 3



Fuente: Elaboración propia para este documento a partir de lo expuesto en (United Nations et al, 2021)

zonas de ecosistemas forestales localizadas fuera de las cuencas abastecedoras para las fuentes de agua utilizadas por la sociedad, igualmente, no siempre el que un ecosistema contribuya al mantenimiento de flujos de agua o a la retención de sedimentos implica que los beneficiarios los usados por, o puede ocurrir que incluso en la ausencia de los ecosistemas, los componentes abióticos del balance hídrico —es decir, la precipitación y escorrentía sin considerar la influencia de los ecosistemas y el suelo— por sí solos puedan mantener niveles suficientes de suministro de agua.

Dados los anteriores retos, en este piloto se diseñó la metodología descrita a continuación y que se indica en la figura 2-4.

### **2.5.1 Identificación de posibles beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos**

La primera parte de este proceso inicia con la identificación de los elementos esenciales del suministro y uso de los SE en el Área de Contabilidad Ecosistémica. Para ello, es necesario conocer de antemano los servicios que se pretenden contabilizar, tales como, retención de sedimentos, mantenimiento de los caudales durante las épocas de estiaje, entre otros. El tipo de información a revisar corresponde preferiblemente a estudios y bases de datos oficiales de escalas nacional y regional, pero también puede complementarse con información contextual (Anexo 3). A partir de esta revisión se construye una conceptualización preliminar que permita visualizar si los SE a analizar tienen la posibilidad de existir en la zona y si este es el caso, cuáles serían sus principales beneficiarios.

Para los SE acá analizados, la identificación de los potenciales beneficiarios de los SE puede partir de las categorías de usuarios del agua. Sin embargo, siendo consistentes con la conceptualización del SCAE-CE, es fundamental entender que no todo usuario del agua será necesariamente beneficiario de los SE y que pueden existir beneficiarios que no suelen ser entendidos como usuarios del agua. Posteriormente, se rastrea con base en un supuesto, los SE desde los ecosistemas potenciales prestadores del servicio, hasta el sitio donde el servicio se utiliza por primera vez por un beneficiario. Este proceso se puede emprender de manera simultánea para todos los SE que se desee contabilizar.

### **2.5.2 Conceptualización preliminar de la importancia de los Servicios Ecosistémicos para los beneficiarios**

Para cada uno de los beneficiarios se puede postular a manera de hipótesis cómo estos se benefician de los SE. Para esto es útil tener un conocimiento básico de cómo funciona el sistema beneficiario (por ejemplo, un sistema de acueducto y las poblaciones que dependen de éste) y preguntarse cómo puede afectar negativamente al sistema una eventual disminución del servicio ecosistémico. Dando respuesta a estos interrogantes, a manera de hipótesis pueden construirse modelos conceptuales simplificados. Este ejercicio puede apoyarse en literatura científica o en ejercicios previos de valoraciones de SE, de esquemas de pagos por SE, y de compensaciones ambientales, entre otros. En caso de que no se cuente con ningún tipo de información o se desconozca por completo cómo podría depender el beneficiario del servicio estudiado, será necesario omitir esta etapa y pasar a la siguiente<sup>6</sup>. Respecto a las afectaciones

6 Lo deseable es que por lo menos se construya una conceptualización general, de manera que en la siguiente etapa se cuente con un punto de partida para discutir y validar los SE con los potenciales beneficiarios. Si la concep-

negativas, estas pueden ser de dos tipos: (1) aquellas con las que los beneficiarios pueden estar familiarizados debido a que eventualmente han ocurrido en el pasado o en zonas cercanas; y (2) aquellas que no han ocurrido en la zona, que están asociadas a situaciones más catastróficas y con las cuales los beneficiarios no suelen estar familiarizados.

### 2.5.3 Validación de la conceptualización de la importancia de los Servicios Ecosistémicos para los beneficiarios

Las conceptualizaciones anteriores constituyen hipótesis que requieren ser verificadas y en algunos casos exigirán ser construidas desde ceros. Para ejecutar esa tarea, se sugiere organizar conversatorios directamente con los beneficiarios o sus representantes. La conceptualización de las afectaciones con las que los beneficiarios están familiarizados, fabricada en el paso anterior, es un punto de partida útil del conversatorio, ya que puede propiciar la discusión, desvirtuar suposiciones, incluir elementos que hayan quedado por fuera de la conceptualización y jerarquizar la influencia de las hipótesis que el beneficiario considere representativas para su caso. Por consiguiente, se tendrá una conceptualización mucho más ajustada a las características de la zona y del beneficiario; igualmente, deberá quedar claro si el beneficiario se entiende a sí mismo como un beneficiario del servicio ecosistémico o si, por el contrario, considera que su existencia no influye sobre él. También deberá indagarse por información que permita establecer magnitudes que den cuenta de la relevancia del servicio estudiado.

En cuanto a la conceptualización de las afectaciones con las que los beneficiarios no están familiarizados, se puede recurrir a casos de estudio o a otras evaluaciones científicas de referencia. Existen estimativos de referencia construidos, por ejemplo, para evaluar los impactos que tendrá el cambio climático.

### 2.5.4 Modelación matemática de los procesos biofísicos

Para poder cuantificar los SE y garantizar su comparabilidad, el marco SCAE-CE propone utilizar el concepto de línea base. Esta corresponde a un nivel de referencia de la condición del ecosistema que generará el mínimo nivel posible de suministro del servicio. En el caso de varios SE la línea base corresponde a cero. Por ejemplo, el servicio de almacenamiento de carbono de un ecosistema forestal es cero si se pierde por completo la biomasa de la vegetación y se degradan los suelos orgánicos.

En el caso de los SE hídricos, al ser determinados por la interacción entre procesos abióticos y bióticos, la condición de línea base no es cero, básicamente porque flujos como los de sedimentos y cantidad de agua continuarán ocurriendo aun cuando desapareciera el componente biótico de una cuenca. Sin embargo, es de esperarse que las magnitudes y los patrones espaciales y temporales de dichos flujos de agua sean distintos. Así, el servicio ecosistémico corresponde a la diferencia entre las magnitudes y patrones de los flujos de agua predominantes durante el periodo contable, y las magnitudes y patrones de los flujos que ocurrirían en la condición de línea base.

**La anterior situación implica que es necesario recurrir a la modelación matemática de los procesos biofísicos.** Dado que el marco SCAE-CE es de tipo

---

tualización preliminar resulta imposible, en la etapa de validación deberán lograrse esfuerzos adicionales para tratar de entender y representar a partir del conocimiento de los entrevistados la importancia de los SE.

espacial, la modelación de estos SE requiere distribuirla espacialmente. Para algunos SE debido a sus características puede ser igualmente relevante conocer y cuantificar la distribución temporal del proceso (es el caso de los caudales bajos). La guía de modelación biofísica para la contabilidad de ecosistemas de SCAE-CE presenta una revisión de las ventajas de los distintos modelos que pueden utilizarse para dicho fin (United Nations, 2022). En el presente piloto se utilizó la herramienta InVEST<sup>7</sup> desarrollada por el Proyecto de Capital Natural de la Universidad de Stanford.

De esta forma, como insumo para la modelación y cuantificación de los SE se requiere definir una línea base. Para los servicios analizados en este piloto el marco SCAE-CE propone utilizar de línea base una condición de suelo desnudo, que en el caso del servicio de retención de sedimentos es claro que corresponde a una situación crítica.

Para los Servicios Ecosistémicos asociados a cantidad de agua, la selección de la línea base es un poco más compleja. Esto ocurre en gran medida porque los resultados de los experimentos practicados en cuencas pareadas, para identificar los cambios en los caudales medios y bajos, en general, han mostrado que la remoción de la cobertura vegetal trae consigo un incremento inicial de los caudales (Andréassian, 2004; Brown et al., 2005). No obstante, particularmente en el caso de los caudales bajos, la representatividad de los resultados de las cuencas pareadas para permitir inferir lo que pasa en los ecosistemas no controlados para fines científicos ha sido puesta en duda (Bruijnzeel, 2004). En buena parte, porque una vez ocurre la remoción de la cobertura vegetal en las cuencas “reales”, los procesos socio-eco-

lógicos que ocurren tienden a deteriorar la condición del suelo; por ejemplo, reduciendo la cantidad de materia orgánica o la capacidad de infiltración. En este sentido (Peña-Arancibia et al., 2019) ha mostrado que a través de una modelación global para el trópico, la deforestación junto con una reducción en la infiltración ocasionaría disminuciones en algunos de los meses para los caudales bajos en el 19 % del área evaluada. Por lo tanto, la definición de línea base más crítica debería corresponder no solo a suelo desnudo, sino también a un suelo con un deterioro en otras de sus características, podrían ser la capacidad de infiltración consecuencia de la erosión y de la compactación a largo plazo, o de la impermeabilización.

### 2.5.5 Conceptualización de las relaciones entre suministro y uso de los Servicios Ecosistémicos

La forma como en las cuencas discurren los flujos de agua y el modo en que es aprovechada se constituye en un determinante en sí de los SE. En algunos Servicios Ecosistémicos, el que un beneficiario haga uso no necesariamente excluye o habilita el que otros puedan beneficiarse del servicio, este puede ser el caso de la captura de CO<sub>2</sub> y la creación de beneficios globales a toda la humanidad. Para los SE hídricos esto suele ser distinto, ya que quien haga un uso total o parcial del servicio puede condicionar la cantidad que queda disponibles aguas abajo. En consecuencia, el servicio que recibe un beneficiario puede ocurrir a expensas de otro ubicado aguas abajo o viceversa, como la influencia de un embalse sobre el servicio de retención de sedimentos; en la

7 [InVEST \(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs\)](#) es un conjunto de modelos computacionales utilizados para mapear y valorar los bienes y servicios de la naturaleza que sustentan y satisfacen la vida humana. Ayuda a explorar cómo los cambios en los ecosistemas pueden conducir a cambios en los flujos de muchos beneficios diferentes para las personas. La descripción de la aplicación de esta herramienta en el Área de Contabilidad Ecosistémica puede consultarse en el anexo 3.

medida que los sedimentos atrapados en el embalse ya no pueden afectar a otros usuarios aguas abajo. Esta etapa consiste precisamente en explicar ese proceso; es decir, en conceptualizar las relaciones topológicas entre los ecosistemas y los SE.

La conceptualización de dicha topología puede apoyarse en la modelación matemática de los procesos biofísicos, y en la conceptualización de la zona y de los beneficiarios. En principio, se trata de visualizar el modo mediante el cual transita el servicio ecosistémico estudiado desde los ecosistemas hasta llegar al último beneficiario incluido en la Contabilidad Ecosistémica. En ese sentido, es factible que el servicio se agote durante su recorrido, o que, según de la forma de usarlo, aumente.

### 2.5.6 Determinación de la oferta de Servicios Ecosistémicos por activo ecosistémico

De acuerdo con la conceptualización del SCAE-CE un servicio ecosistémico existe únicamente si la contribución de los ecosistemas es “usada” en la actividad económica y humana. Esto hace necesario responder dos preguntas: (1) ¿cuánto es el servicio ecosistémico máximo que podrían proporcionar los activos ecosistémicos?, y (2) ¿cuánto de tal potencial servicio es realmente usado? Esta etapa de la metodología responde a la primera pregunta. La cuantificación del servicio que puede proporcionar cada activo ecosistémico consiste simplemente en la agregación del servicio de los resultados de la modelación matemática. Dicha tarea requiere del cálculo de estadísticas zonales a partir de Sistemas de Información Geográfica o de códigos de programación desarrollados para tal fin.

### 2.5.7 Diseño para cuantificar la cantidad de Servicios

### Ecosistémicos proporcionados por cada ecosistema y usado por cada beneficiario

Esta etapa constituye la piedra angular de la cuantificación física de Servicios Ecosistémicos (SE), que se determina a partir de la oferta potencial de SE de cada ecosistema; es decir, ¿cuánto lo utiliza cada beneficiario? Para responder este interrogante, debe proponerse una metodología de cálculo consistente con la conceptualización topológica y cuya cuantificación sea viable.

### 2.5.8 Cuantificación de los Servicios Ecosistémicos proporcionados por ecosistema y son usados por cada beneficiario

Siguiendo la metodología descrita en el punto anterior, se procede a efectuar los cálculos. Estos normalmente requerirán el uso de Sistemas de Información Geográfica y hojas de cálculo. Los insumos para la consecución de dichos cálculos provendrán de los resultados de los modelos biofísicos, las cantidades asociadas al uso del agua, la información demográfica como la de los censos poblacionales, y especificaciones de los sistemas antropogénicos que modifican o a través del cual es recibido el Servicios Ecosistémicos.

### 2.5.9 Diligenciamiento de tablas de la cuenta 3 del marco SCAE-CE —Servicios Ecosistémicos en magnitudes físicas—

Finalmente, los resultados anteriores se consignan en el formato de tabla que propone el marco SCAE-CE para la cuenta de Servicios Ecosistémicos en magnitudes físicas.

## 2.6 Cuenta Flujo y uso de Servicios Ecosistémicos hídricos en unidades monetarias

### 2.6.1 Conectando el registro en unidades biofísicas con la valoración económica

La valoración económica en el SCAE-CE recoge la discusión que por años se ha llevado acerca de la importancia que tienen los ecosistemas para la producción económica y para el sostenimiento básico de las sociedades. Una de las principales razones para llevar los servicios ecosistémicos a una valoración económica es la posibilidad de agregar de forma coherente lo que en unidades biofísicas no puede agregarse o compararse (Hein *et al.*, 2006). Es importante aclarar que toda forma de valoración inevitablemente va a sobrevalorar o a subvalorar los servicios ecosistémicos (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010). Sin embargo, la posibilidad de cuantificar el efecto total de un ecosistema ya sea para la aplicación de políticas públicas, planeación, gestión del riesgo o aplicación de instrumentos económicos hace que valga la pena el esfuerzo incluso con los posibles errores. En política pública es claro que nunca se cuenta con el total de información, pero

las decisiones que se toman se hacen con la mayor cantidad de información disponible. La valoración económica aporta elementos de juicio para una toma de decisiones oportuna y eficaz.

La metodología del SCAE-CE recoge buena parte de las discusiones dadas anteriormente acerca de la importancia de los servicios ecosistémicos y las posibles técnicas para valorarlos (United Nations *et al.*, 2021). Un avance importante del SCAE-CE es la propuesta de un orden en la metodología de valoración que tiene en cuenta la existencia de fuentes de información viable. El orden propuesto va de fuentes de información observable a otras que requieren más cálculos, siendo más deseables las que son directamente observables y menos deseables aquellas técnicas cualitativas o que requieran un gran entramado de estimaciones. Sin embargo, la metodología propone un acercamiento a la realidad, tratando de evitar subvaloraciones o sobrevaloraciones, la Tabla 2-1 muestra el orden propuesto, el cual, fue tenido en cuenta para la valoración de los SE cuantificados en el componente biofísico.

Tabla 2-1. Métodos de valoración económica ordenados según la metodología de UN-SCAE.

Método	Nombre	Observaciones
1. Métodos en los que el precio del servicio ecosistémico es directamente observable.	Valores observados directamente	Valores de mercado.
2. Métodos en los que los precios se obtienen de mercados de bienes y servicios similares.	Precios de mercados similares	Precios de mercado comparables de productos similares.

Método	Nombre	Observaciones
3. Métodos en los que los precios (y los valores asociados) están incorporados en transacciones de mercado.	Métodos de valor residual y renta de recursos	Valor residual entre la producción y los ingresos de otros insumos.
	Método de cambio de productividad	Cambios en el tiempo en la productividad debido a cambios en la oferta de servicios ecosistémicos.
	Método de precios hedónicos	Diferencias de precios debidas a los servicios ecosistémicos.
4. Métodos en los que los precios se basan en gastos revelados en bienes relacionados y servicios	Método de comportamiento para evitar daños	Gasto en evitar daños ambientales mediante una inversión de capital que reduce el daño.
	Método de costo de viaje	Gastos de viaje a ecosistemas protegidos para usos recreativos.
5. Métodos en los que los precios se basan en gastos o mercados esperados.	Costo de reemplazo	Costo para obtener el mismo servicio usando capital.
	Costes por daños evitados	Contabiliza los posibles daños debidos a la falta del servicio ambiental, como el control de inundaciones o la erosión del suelo.
	Método de valor de cambio simulado (SEV)	Precio del ecosistema si se negociara en un mercado.
6. Otros métodos de valoración	Precio sombra proyectado	Costo asociado a la porción de servicio ecosistémico en el precio total del producto (optimización o métodos económicos).
	Costos de oportunidad de usos alternativos	Beneficios de usar el ecosistema sin la provisión de los activos más flexibles en el ecosistema.
	Métodos de preferencias reveladas	Información de encuestas o experimentos sobre las preferencias acerca de posibles pagos por servicios ecosistémicos.
	Precios calculados por modelación económica	Datos de precios de diferentes modelos económicos: econometría, equilibrio general o <i>input-output</i> .
	Métodos cualitativos	Múltiples métodos cualitativos para recuperar información de grupos focales.

Fuente: Elaboración propia. Tomado de UN, (2021).

Aunque la metodología propone hacer las valoraciones de la forma más estandarizada posible, la existencia de una subvaloración o sobrevaloración debido a subsidios o impuestos que distorsionan el valor real del servicio, invita a pensar en métodos más complejos que realmente se ajusten a la realidad. Más allá de buscar determinar un valor económico, se espera que el dato obtenido sea lo

más cercano a la realidad. Este aspecto fue un tema importante dentro de la discusión y construcción de la metodología.

Una distorsión de precios causa un impacto importante a la hora de comparar los servicios ecosistémicos que presta un ecosistema con respecto a otro. Haciendo poco comparables los resultados entre

un servicio ecosistémico y otro. Por ejemplo, para el caso colombiano se encuentra que el agua tiene un valor de mercado, pero este valor está muy por debajo de otros cálculos de precio sombra (Romero, 2021) u otras mediciones acerca del agua. Es así que se buscaron otros métodos que pueden ser más complejos y estar más abajo en la escala del SCAE-CE, pero pueden ser más confiables en términos de los resultados que se obtienen. Teniendo en cuenta lo anterior, se señala que esta metodología privilegió métodos menos directos pero más pertinentes, comparables y precisos que capturan la información de forma más realista para el contexto del país.

## 2.6.2 Suministro de agua: retención de sedimentos

Para este caso se procedió a revisar uno a uno los métodos de valoración, según el orden. La evaluación se hizo teniendo en cuenta la disponibilidad de información y las herramientas para la valoración económica:

- Es imposible capturar directamente el valor total de retención de sedimentos en la cuenca. Hasta ahora, nunca se ha establecido el valor de la retención de sedimentos como un servicio transable en un mercado ni se ha fijado precio a este servicio.
- No existe un bien exactamente igual al de la retención de sedimentos; pero sí existe el servicio de remoción de sedimentos, que prestan empresas encargadas en zonas específicas con procedimientos como el dragado o recolección directa de sedimentos acumulados.
- Sí se conoce la diferencia entre el precio observado por un usuario, entre un metro cúbico de agua que proviene de un área con bosque que reduce el sedimento y un metro cúbico de un área que no tiene el cubrimiento de bosque en

condiciones relativamente similares, se puede conocer el valor.

- No es posible capturar de forma simple la totalidad de daños ambientales debido a los sedimentos, pero sí se puede establecer el incremento en la producción de sedimentos debido a la ausencia de ecosistemas.
- Se puede calcular el costo de hacer una retención de sedimentos con capital. Este cálculo permite capturar la función de costos relacionada con la cantidad de sedimentos removidos. Con la cantidad de sedimentos que se sabe que captura el bosque puede estimarse el aporte del ecosistema.

Puesto que todos los beneficiarios son diferentes, la valoración económica para cada actor debe estudiarse con el contexto de cada uno de ellos. Cuando el mercado tiene un valor para los servicios ecosistémicos es fácil establecer la valoración para todos los beneficiarios, puesto que todos se enfrentan al mercado y pagan el precio requerido de una misma forma. Infortunadamente este no es el caso para la mayoría de los servicios ecosistémicos, en especial para la retención de sedimentos. Por ejemplo, la estructura de costos de las empresas de acueducto permite incluir la retención de sedimentos como un sobre costo a la actividad o el costo de oportunidad existente por no prestar el servicio, mientras que para las hidroeléctricas el cambio se refleja en el acortamiento de la vida útil del embalse. Así, es necesario evaluar de forma detallada cada uno de los servicios ecosistémicos para encontrar el método adecuado de la valoración económica, incluso dentro de un mismo servicio ecosistémico.

Es importante señalar que la ubicación puede hacer que las funciones y metodologías para valoración cambien. Los comportamientos y el uso de los servicios ecosistémicos por las personas no son los mismos para todos los lugares, porque al tener distintas formas de ver y usar el servicio ecosistémico

mico, la valoración de un beneficiario puede variar según la ubicación, dadas las diferencias culturales, políticas, educativas, económicas y climáticas. Por eso es importante definir estos aspectos y acercarse a actores de la región que permitan corroborar lo establecido en literatura y, si es necesario, proponer metodologías basadas en la evidencia que permitan capturar de forma adecuada los comportamientos locales que influyen sobre la prestación o no de un servicio ecosistémico.

- Hogares (Doméstico)

Se optó por seguir la metodología de costos de reemplazo (numeral 5 en métodos de valoración económica), debido a que no es posible establecer el precio de mercado del servicio de retención de sedimentos para los hogares. Tampoco es posible encontrar un bien o servicio que de forma comparable haga lo mismo. En la misma línea, no existen precios similares del servicio que sean comparables y tampoco es posible establecer de forma simple los daños que se causarían y en los que se invierte para mantener el servicio. Lo que sí se puede establecer es cuánto cuesta prestar el mismo servicio a partir de inversión de capital. En este caso, se analiza el costo en el que incurren las empresas de servicios públicos, —los acueductos que prestan el servicio de agua potable a los hogares y que están obligados a mantener un nivel de calidad y continuidad esperada— que va en línea del servicio ecosistémico de retención de sedimentos. En este punto se asume que un incremento en la inversión de capital para tratar aguas con mayor cantidad de sedimentos será trasladado a los hogares.

Los acueductos siempre tienen incluidos los costos de tratamiento de los sedimentos transportados por las fuentes hídricas dentro del proceso de potabilización. Sin embargo, la forma de conocer el efecto real de la sedimentación está en los eventos extremos

donde se ven expuestos los efectos económicos reales relacionados con la acumulación de sedimentación. En ese sentido, los costos por sedimentos están relacionados con el volumen de agua consumida ( $V$ ). La relación de costos tiene dos partes, una relacionada con los costos de oportunidad por estar fuera de servicio y la otra por los costos relacionados con el exceso de sedimentos más allá de los que usualmente tratan en el proceso de potabilización.

La pérdida económica para la empresa de servicios públicos o costos de oportunidad corresponde al daño asociado a la falta del servicio ecosistémico mencionado en la metodología SCAE-CE. La metodología del SCAE-CE propone que una de las formas de medición también son los daños o pérdidas debido a la falta del servicio ecosistémico, para este caso el daño o pérdida corresponde al servicio que se deja de prestar el acueducto debido a que las plantas son incapaces de procesar toda el agua que llega con sedimentos. Así, los costos de oportunidad están definidos en términos del tiempo que las plantas de tratamiento están fuera ( $t_{out}$ ), el costo de lo que facturarían mientras están fuera de servicio ( $Cost_{out}$ ) y un coeficiente que modula este efecto ( $B$ ). Este último solo ocurre cuando el nivel de sedimentos es tan alto que las plantas de tratamiento no pueden procesarlos: nivel superior a los 1.000 NTU<sup>8</sup> para plantas pequeñas o a los 5.000 NTU para plantas grandes.

La otra parte, relacionada con los sedimentos, entre en la descripción del precio del tratamiento por metro cúbico, el cual se incrementa debido a la cantidad de sedimentos. Para capturar esto se propone la construcción de un parámetro a partir de una función que relaciona el incremento en precios ( $P_{CS}$ ) y los sedimentos. El parámetro necesita dos puntos de referencia: uno inicial en el que se tienen el valor normal de manejo de sedimentos ( $S_{0,1}$ ), y otro con el incremento que se tendría en costos para un valor

8 Unidad de medida de sedimentación: unidades nefelométricas de turbidez (NTU, por sus siglas en inglés).

determinado de sedimentación ( $S_A, \Delta CTS$ ). Aquí se asume que los sedimentos y el costo de su manejo tienen una relación directa positiva, de modo que ambos crecen de forma continua.

$$P_{CS} = I + \left( \frac{\Delta CTS}{S_A - S_0} \right) * S$$

Al multiplicar este parámetro por el costo medio que tiene tratar un metro cúbico de agua ( $CT$ ), se construye la segunda parte de la ecuación. Así pues, la función de costos de capital que reemplazan el servicio ecosistémico de retención de sedimentos para los hogares correspondería a:

$$FC = V + (t_{out} * Cost_{out} * B + P_{CS} * CT)$$

La función para calcular el valor económico del servicio ecosistémico de retención de sedimentos para los hogares requiere parámetros específicos al lugar de aplicación: el precio promedio de tratamiento de aguas crudas en la región, las tarifas de acueducto, algunos datos de los costos por incremento en sedimentos y el volumen demandado en la región. Es importante mencionar que muchos de estos datos necesitan ser tomados de la región. De igual forma es importante mencionar que el año seleccionado para los cálculos debe ser el mismo en todas las variables, en caso de no ser así, se sugiere tomar un año con comportamiento parecido y para el caso de valores monetarios ajustar vía inflación.

La valoración del servicio ecosistémico de sedimentación parte de los resultados de sedimentos obtenidos a través de InVEST. Posteriormente, se calcula la inversión de capital equivalente al servicio ecosistémico de retención de sedimentos, es decir, al valor de la función que cumplirían los ecosistemas.

- *Energía*

En la generación energética el cálculo para la valoración monetaria del servicio ecosistémico es semejante al empleado en los hogares. Se descartaron los métodos según su orden; es decir, no se puede valorar de forma directa el servicio de retención de sedimentos a precios de mercado. Para la generación eléctrica por hidroeléctricas, especialmente en grandes presas, no existe el servicio de remoción de sedimentos; no obstante, es posible evaluar el impacto a largo plazo de la caída en la productividad si no existiera el bosque. Para los embalses destinados a la generación eléctrica, la acumulación de sedimentos en el fondo es un verdadero problema, por cuanto reduce la capacidad de almacenamiento de agua que sería usada para producir energía o para mitigar las inundaciones.

En un periodo normal el valor presente neto de la energía anual generada por una hidroeléctrica (PNN, 2016) corresponde a:

$$VPN = (p_e * E_g - C_F) \sum_{t=0}^{T-1} \frac{1}{(1+r)^t}$$

Donde  $VPN_T$  es el valor presente neto calculado en el año T,  $P_e$  es el precio de la energía,  $C_F$  los costos fijos<sup>9</sup> y  $r$  la tasa de descuento del proyecto. Esta forma funcional tiene en cuenta que los sedimentos se acumulan en el tiempo y por lo tanto el daño en el embalse es también acumulado.

Así, suponiendo que el valor de vida útil de un embalse es típicamente 50 años, el valor de un año de vida útil en promedio sería ( $APromVU_N$ ):

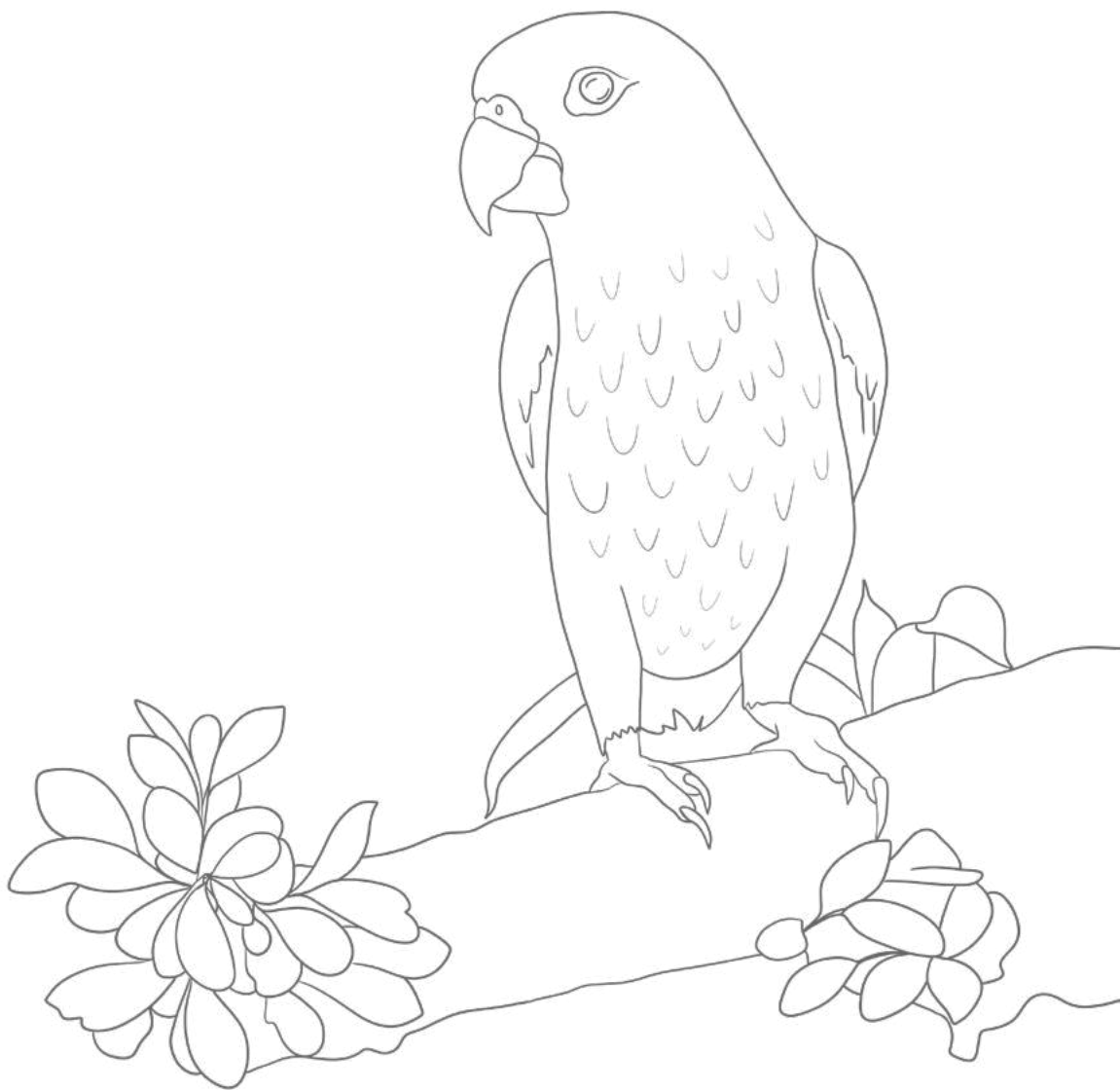
$$APromVU_N = \frac{VPN_{50}}{50}$$

9 Es claro que con la sedimentación los costos fijos aumentan; sin embargo, no se encontró un dato explícito que diera idea acerca de cómo construir la forma funcional que relaciona el incremento de sedimentos con el incremento en costos fijos.

Teniendo en cuenta que los sedimentos reducen el tiempo de vida útil de un embalse, la existencia de servicios ecosistémicos reduce la acumulación, haciendo que la vida útil del embalse se extienda al tiempo teóricamente calculado. Si se hace el cálculo de los años que se le añaden al embalse, es factible conocer el valor de servicio que presta el bosque. De esta forma es posible establecer el valor de la retención de sedimentos teniendo en cuenta los años de extensión o pérdida que brinda el servicio ecosistémico ( $\Delta AS$ ).

$$\Delta F = APromVU_N * \Delta AS$$

Para los dos casos expuestos la propuesta metodológica propone funciones acordes a la información encontrada para los beneficiarios. Asimismo, se incluyeron aspectos relevantes a las situaciones encontradas que capturan aspectos de la zona. Las funciones pueden cambiar dependiendo de la zona dónde se apliquen y situaciones especiales para las que se requieran otras metodologías, formas funcionales o parámetros.



Piloto de contabilidad  
ecosistémica en la región  
del golfo de Morrosquillo  
y el río Sinú

3



### 3.1 Identificación de posibles beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos

Se identificaron entre los posibles beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos del piloto los siguientes: (1) beneficiarios que captan el agua a través de sistemas de acueductos; (2) embalse de Urrá I; (3) agricultores que captan el agua principalmente del río Sinú; (4) beneficiarios que no captan el agua del río Sinú, y que siguiendo la definición de Llambí (1988, como se citó en Forero, 2013), en su mayoría son campesinos, dado el bajo nivel de capital-tecnificación para acceder al agua; (5) beneficiarios que no captan el agua del río Sinú, pero que presentan un nivel de capital-tecnificación relativamente alto; por ejemplo, la extracción de agua subterránea de pozos a grandes profundidades; y (6) pescadores.

Para esta conceptualización se revisó de manera general la información que se relaciona en el anexo 3. Estos corresponden a los beneficiarios representativos, no obstante, pueden existir otros.

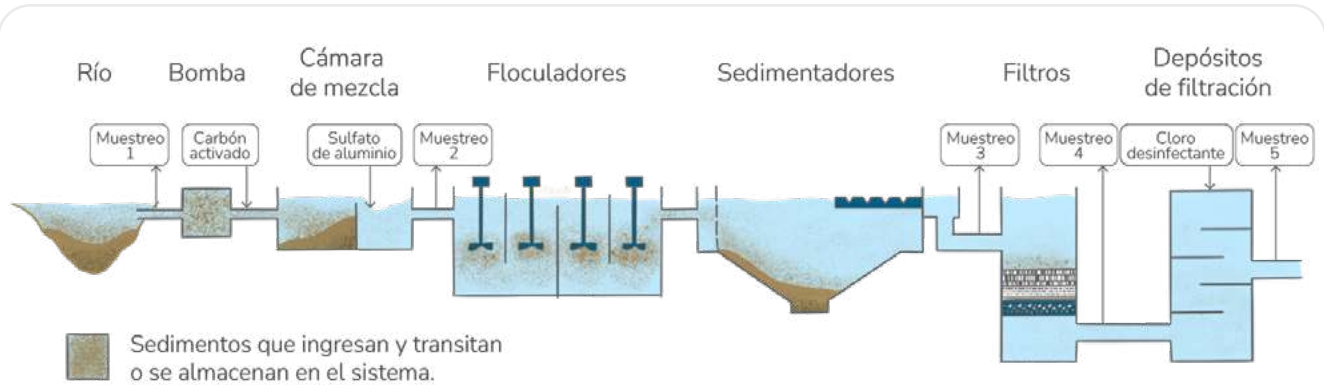
Las anteriores tipologías de beneficiarios de Servicios Ecosistémicos no corresponden ni con las clasificaciones más utilizadas de usuarios del agua, ni con las categorías de actividades económicas. Esto implica que posteriormente se requiere hacer agregaciones y homologaciones. Sin embargo, se considera necesario partir de una tipificación de beneficiarios que permita diferenciar los usos, y que facilite la explicación y cuantificación del servicio.

### 3.2 Conceptualización preliminar de la importancia de los Servicios Ecosistémicos para los beneficiarios

La conceptualización preliminar que se construyó a manera de hipótesis para validar con los potenciales beneficiarios se plasmó en diagramas. Los 3 tipos de Servicios Ecosistémicos y los 6 beneficiarios darían lugar a 18 conceptualizaciones; no obstante, sólo se construyeron 13, pues algunas podrían utilizarse de

manera combinada y otras no resultan pertinentes. Los diagramas para el caso del servicio ecosistémico de retención de sedimentos se presentan en los diagramas 3-1 a 3-5; el resto se incluyen en el Anexo 4.

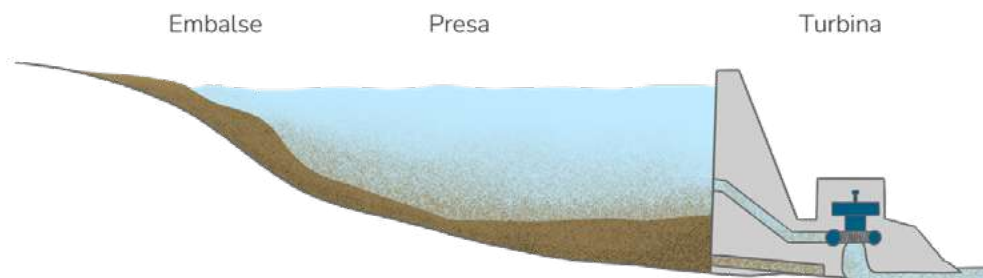
Diagrama conceptual preliminar 3-1. Importancia del SE de retención de sedimentos para los beneficiarios que captan el agua a través de sistemas de acueductos



	Efectos	
	Operando con el mismo sistema	Cambios estructurales al sistema
<b>Captación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Labores de limpieza y remoción de sedimentos en la bocanoma.</li> <li>• Muestreo 1.</li> </ul>	<b>Adecuaciones:</b> Reingeniería de los procesos, ampliación de la infraestructura existente o diseño y construcción de nueva infraestructura.
<b>Bombeo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horas fuera de servicio.</li> <li>• Cantidad de energía.</li> <li>• Costos de mantenimiento.</li> </ul>	
<b>Decantación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de carbón activado.</li> <li>• Remoción de sedimentos.</li> <li>• Disposición de sedimentos.</li> <li>• Muestreo 2.</li> </ul>	
<b>Mezcla Rápida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de sulfato de aluminio, cloruro o sulfato férrico.</li> </ul>	
<b>Floculación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de energía para agitación.</li> <li>• Operación y mantenimiento de las bombas.</li> </ul>	
<b>Decantación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoción de lodos.</li> <li>• Disposición de lodos.</li> <li>• Muestreo 3.</li> </ul>	<b>Adecuaciones:</b> Reingeniería de los procesos, ampliación de la infraestructura existente o diseño y construcción de nueva infraestructura.
<b>Filtrado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavado de los filtros.</li> <li>• Muestreo 4.</li> </ul>	
<b>Desinfección</b>	Cantidad de cloro	
<b>Sanciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sanciones por incumplimiento en la calidad o en la prestación del servicio.</li> <li>• Multas: Cancelación de contratos operadores.</li> <li>• Muestreo 5.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia para este documento.

Diagrama conceptual preliminar 3-2. Importancia del SE de retención de sedimentos para la hidroeléctrica de Urrá I



		Efectos	
		Operando con el mismo sistema	Cambios estructurales al sistema
<b>Embalse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en la generación de energía.</li> <li>• Disminución de la energía firme y de utilidades por cargo por confiabilidad.</li> <li>• Pérdida de la capacidad de reducción de flujos altos por disminución en el volumen de espera.</li> </ul>		<b>Modificaciones a la estructura como:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento en la cota de captación o incremento en la altura del vertedero.</li> <li>• Pérdida de generación de energía mientras se realizan las adecuaciones.</li> <li>• Incremento del riesgo por inundaciones mientras se realizan las adecuaciones.</li> </ul>
<b>Descarga de fondo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colmatación en áreas zona de ingreso.</li> <li>• Colmatación de tuberías.</li> </ul>		
<b>-Construcción- Tubinado- Descarga</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza y remoción de sedimentos en la plazaleta de captación.</li> <li>• Mantenimientos y reparaciones por desgaste de tubería de conducción.</li> <li>• Mantenimientos y reparaciones por desgaste de las turbinas y válvulas.</li> </ul>		

Fuente: Elaboración propia para este documento.

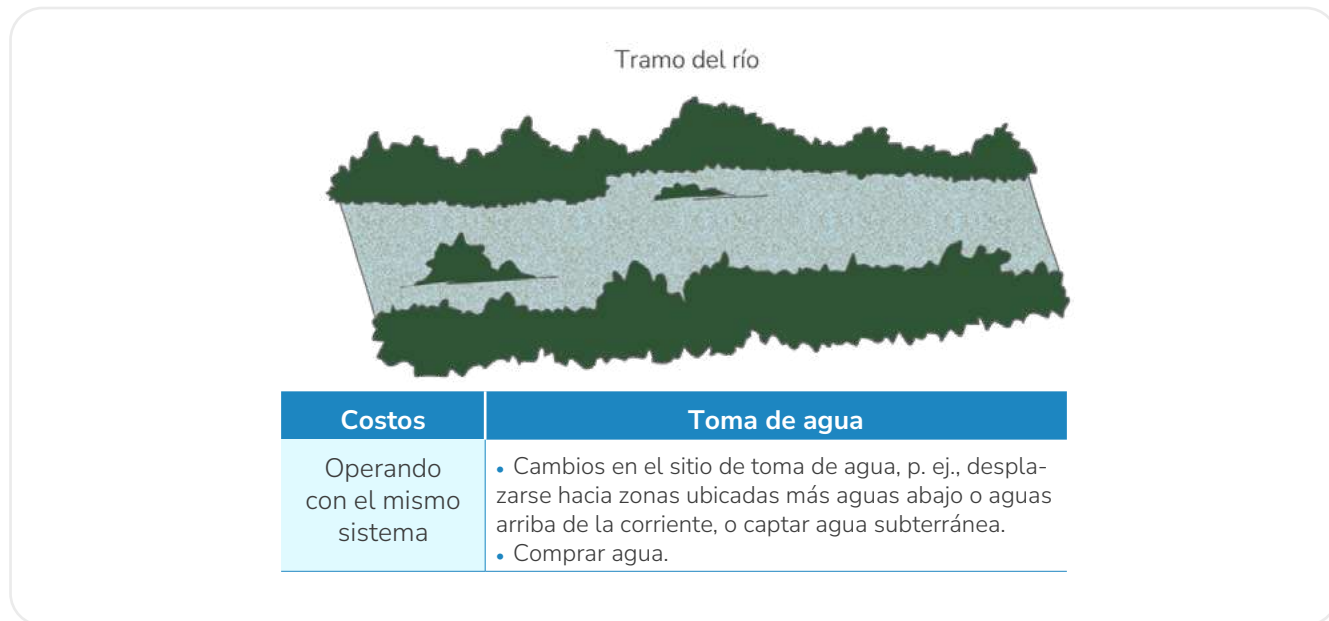
Diagrama conceptual preliminar 3-3. Importancia del SE de retención de sedimentos para agricultores que captan el agua principalmente del río Sinú



	Efectos	
	Operando con el mismo sistema	Cambios estructurales al sistema
Captación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Labores de captación limpia y remoción de sedimentos en la bocatoma.</li> </ul>	Reingeniería de los procesos, ampliación de la infraestructura existente o diseño y construcción de nueva infraestructura.
Bombeo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horas fuera de servicio.</li> <li>• Cantidad de energía.</li> <li>• Costos de mantenimiento.</li> </ul>	
Distribución a través de canales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Labores de limpieza y remoción de sedimentos en los canales.</li> <li>• Disposición de sedimentos.</li> <li>• Pérdidas de agua por vertimientos laterales debido a la pérdida de capacidad del canal.</li> <li>• Atascamientos y bloqueos de compuertas.</li> </ul>	
Sistemas de aspersión y/o goteo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Labores de limpieza de equipos de aspersión y goteo para evitar su colmatación.</li> <li>• Mantenimientos y reparaciones.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia para este documento

Diagrama conceptual preliminar 3-4. Importancia del SE de retención de sedimentos para beneficiarios que no captan el agua del río Sinú, y que en su mayoría son campesinos



Fuente: Elaboración propia para este documento.

Diagrama conceptual preliminar 3-5. Importancia del SE de retención de sedimentos para pescadores de la zona



Fuente: Elaboración propia para este documento.

Los diagramas anteriores no reflejan las situaciones extremas que eventualmente podrían ocurrir a causa de la pérdida de los Servicios Ecosistémicos. Estos diagramas representan más aquellas situaciones con las que los potenciales beneficiarios están familiarizados, que aquellas con las que no lo están. Tal es el caso de sequías socioeconómicas severas, que

impliquen racionamientos prolongados, afectaciones a la salud, pérdida de empleos, acaparamiento del agua, desinstitucionalización de la gobernanza del agua, muertes violentas a causa de los conflictos por el uso del agua, desplazamientos a causa de las sequías, entre otros.

### 3.3 Validación de la conceptualización de la importancia de los Servicios Ecosistémicos para los beneficiarios

Para validar la conceptualización preliminar de la importancia de los Servicios Ecosistémicos, se buscó sostener conversatorios con distintos representantes de los beneficiarios. Para ello, a partir de los resultados de las etapas anteriores se construyó un listado en el que se identificaron posibles beneficiarios. Adicionalmente, se trazaron algunas preguntas guías, para facilitar los conversatorios, y se construyeron algunas diapositivas para comunicar el objetivo del piloto a los beneficiarios y facilitar la comunicación (Anexo 5). Durante el piloto se organizaron tres conversatorios: con la empresa Veolia, encargada de la operación del acueducto de la ciudad de Montería; y con la Agencia de Desarrollo Rural (ADR), para los distritos de riego de Mocarí y La Doctrina (anexo 6)

En estos conversatorios se verificaron varias hipótesis, y también se rechazaron otras en cuanto a la importancia de los Servicios Ecosistémicos para los potenciales beneficiarios. Por ejemplo, de acuerdo con la información proporcionada por la empresa Veolia, en el caso del acueducto de Montería, el Servicios Ecosistémicos (SE) de retención de sedimentos resultó ser de muy alta importancia, pero los SE de suministro de agua en cantidad y de mantenimiento de caudales bajos no. La causa de que estos últimos no sean entendidos por ahora como SE corresponde a que los caudales mínimos que tran-

sitan por este tramo del río exceden ampliamente los requerimientos del acueducto. Esto se da por el tamaño de la cuenca, pero también por la operación del embalse de Urrá I. En cambio, el SE de retención de sedimentos sí resulta fundamental. Básicamente, porque las mayores cargas de sedimentos en el río incrementan los costos de operación de sistema hasta en 2,4 veces; y porque la capacidad máxima de las plantas de potabilización es de 4.000 NTU —unidades de turbidez, variable que es función de la concentración de sedimentos—, de manera que altas cargas de sedimentos pueden obligar a que se detengan las plantas.

En el caso de los distritos de riego administrados por la Agencia de Desarrollo Rural y según lo expresado por la misma, la gestión de sedimentos representa costos importantes para su operación, pero esto por sí solo no permite verificar el servicio estudiado. De acuerdo con los ingenieros con quienes se conversó, los problemas de sedimentos continúan ocurriendo y en magnitudes similares, independientemente de si el río transporta cargas bajas o altas de sedimentos. En buena parte esto es una consecuencia de las características de la infraestructura física por medio del cual se capta el agua del río Sinú. No obstante, no se puede descartar que, si las magnitudes de concentración de sedimentos se incremen-

taran sustancialmente, se producirían afectaciones mayores en los respectivos sistemas.

Dado que no se desarrollaron los conversatorios con los demás potenciales beneficiarios, a partir de

esta etapa, el piloto se focalizó en los beneficiarios asociados a sistemas de acueducto (1), el embalse de Urrá I (2) y en los agricultores que captan el agua del río Sinú (3).

### 3.4 Modelación matemática de los procesos biofísicos

Se utilizaron los modelos de Rendimiento Hídrico Estacional (SWY<sup>10</sup>) y Fracción de entrega de Sedimentos (SDR<sup>11</sup>) implementados en la herramienta InVEST (Versión 3.12) para la modelación espacial de los servicios ecosistémicos en la región. Se utilizaron datos observados de caudales y sedimentos del río Sinú de la red nacional de monitoreo hidrometeorológico del Ideam para cuatro estaciones de aforo: El Limón, Angostura de Urrá, Montería y Cotoca Abajo. Estos datos se calibraron las estimaciones de los caudales de agua y sedimentos modelados con el fin de ajustar los parámetros de cada modelo que produjeran resultados representativos de los datos observados. Los resultados de estos modelos calibrados se utilizaron en la creación de los mapas que representan los procesos biofísicos relevantes para la estimación de SE (figura 3-1).

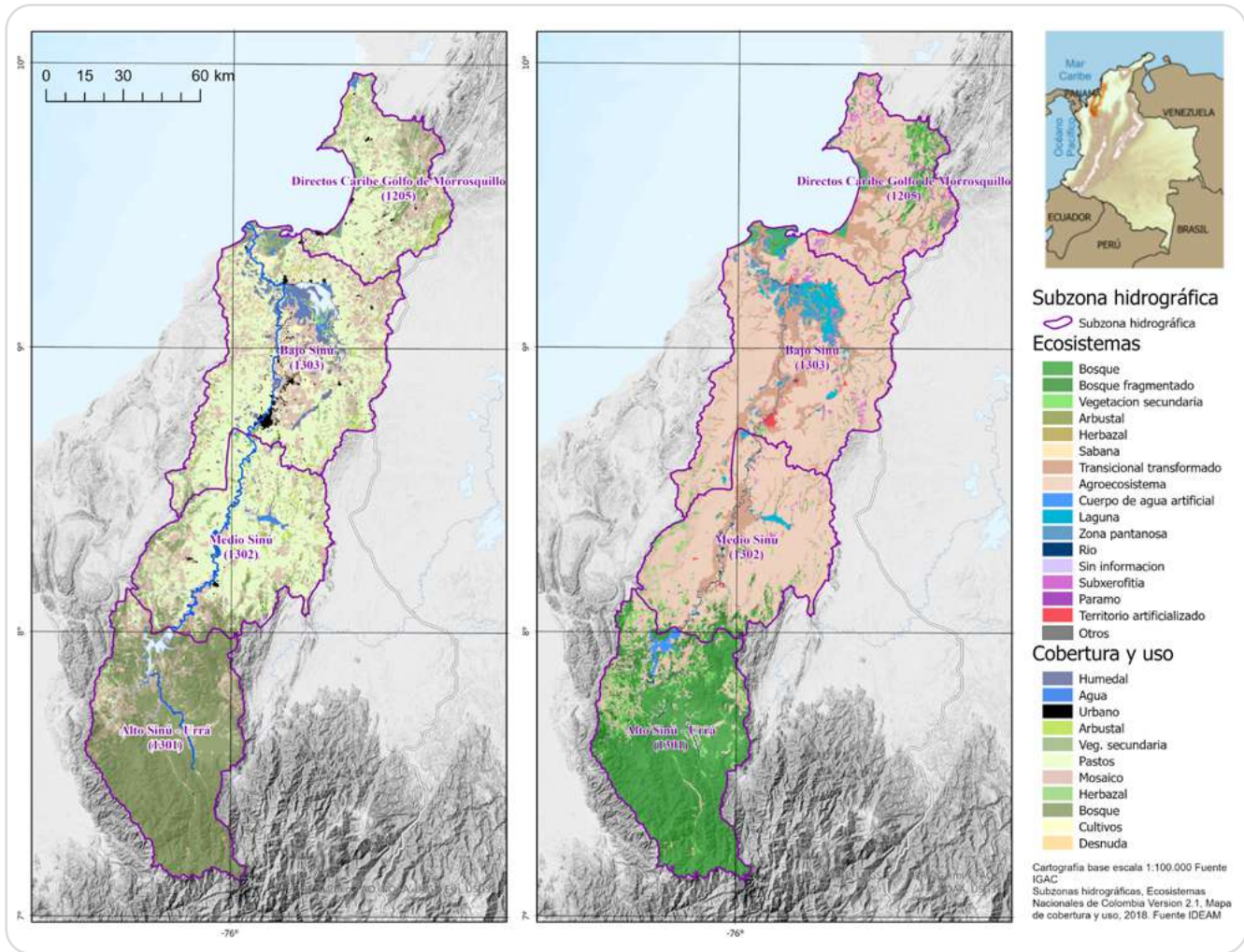
Todos los datos observados utilizados en la calibración corresponden a un período anterior al inicio

de la construcción de la represa de Urrá I, ya que los modelos InVEST no consideraban esta infraestructura construida. Las observaciones de cantidad de agua cubrieron el período de 1959 a 1992. Los datos observados de sedimentos representaron el período de 1972 a 1992. Para coincidir con los resultados de InVEST, los datos de cantidad de agua se compararon con una frecuencia mensual, mientras que los flujos de sedimentos sólo se consideraron anualmente. Para la cantidad de agua, las observaciones de caudal diario se promediaron para cada mes. Para convertir las observaciones de sedimentos de densidad a una tasa de masa (para compararlas con los resultados de InVEST), las concentraciones diarias se multiplicaron por sus respectivos caudales diarios de agua para cada estación de aforo. Estas tasas se promediaron y luego se agregaron para calcular el promedio anual de toneladas de transporte de sedimentos en cada estación de aforo (figura 3-2).

10 Seasonal Water Yield

11 Sediment Delivery Ratio

Figura 3-1. Resultados de modelos calibrados que representan los procesos biofísicos relevantes para la estimación de SE

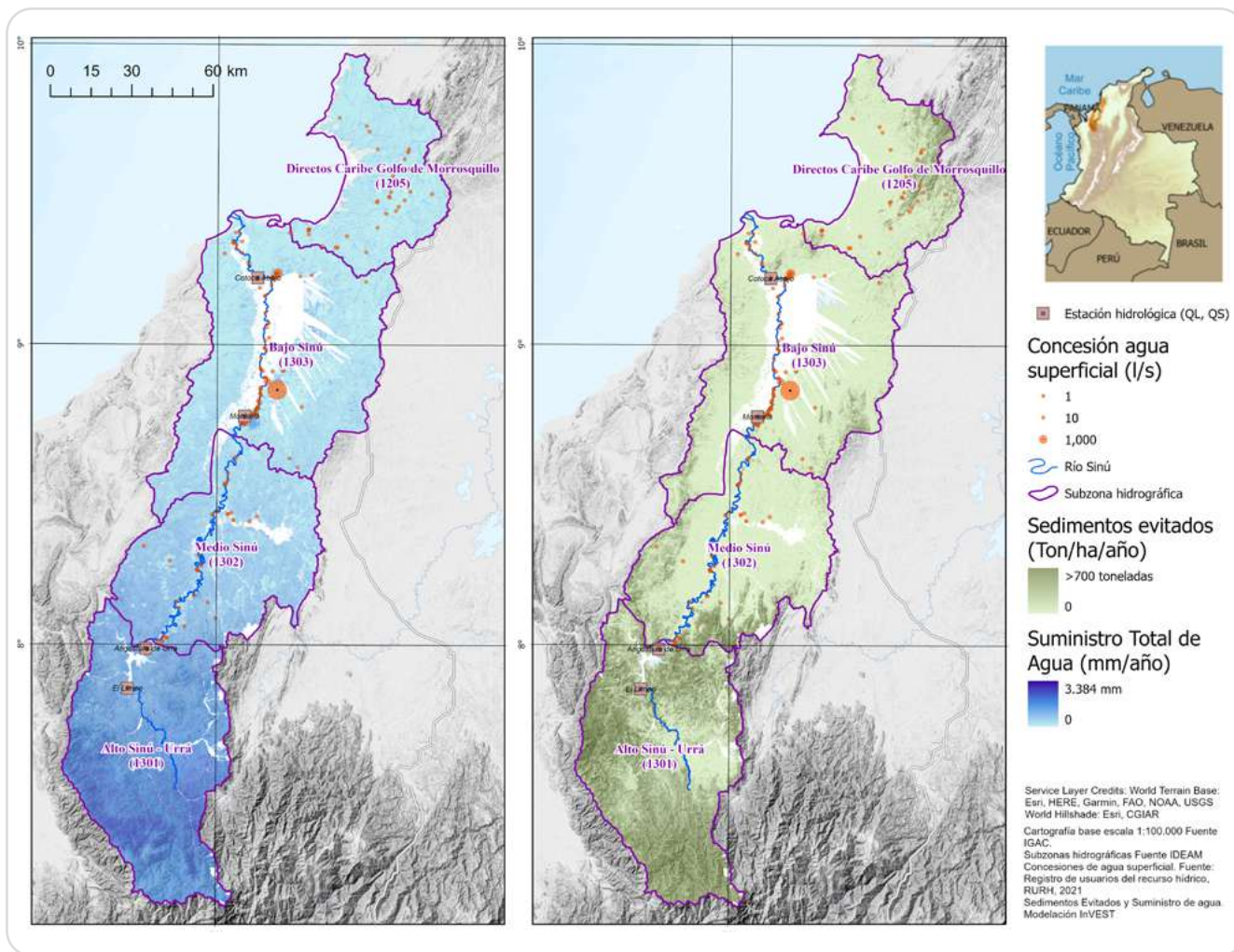


Panel a. Uso y cobertura del suelo / cobertura del suelo dentro de la ACE, basado en IDEAM, 2018

Panel b. Unidades del mapa de ecosistemas en la ACE

Fuente: Elaboración propia basados en el Mapa Nacional de Ecosistemas Continentales y Marinos de Colombia. Basado en Ideam (2017).

Figura 3-2. Provisión anual de agua y aportes de agua en la cuenca en 2018



Panel a. Provisión anual de agua (mm) en 2018

Panel b. Exportación anual de sedimentos evitada en 2018 (toneladas)

Nota: En el panel a.(izquierda) Provisión anual de agua (mm) en 2018. El azul más oscuro representa las zonas con más aportes de agua en la cuenca, el azul más claro indica menos. Los iconos morados muestran las captaciones de fuentes de agua reportadas en el RURH (Registro Usuarios del Recurso Hídrico). El magenta delimita las subunidades espaciales dentro de las cuales se resumieron y calcularon las cuentas. En el panel b. (derecha). Exportación anual de sedimentos evitada (toneladas), correspondiente a la suma de los componentes de erosión evitada y retención de sedimentos, en relación con un escenario de suelo desnudo en 2018. El verde más oscuro representa más exportación evitada, el verde más claro representa menos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IDEAM e IGAC (2023).

### 3.5 Conceptualización de las relaciones topológicas ecosistema- Servicios Ecosistémicos

Esta etapa permite visualizar cómo fluyen los SE desde los ecosistemas a través del sistema social y económico. Por ejemplo, a partir de los resultados del modelo de sedimentos exportados, es claro que una gran magnitud de este servicio proviene de los ecosistemas de la parte alta de la cuenca del río Sinú. De esta forma, se hace evidente que Urrá I constituye un beneficiario de este servicio, pues dicha magnitud de sedimentos representaría una amenaza para su funcionamiento y su “vida útil” (Morris, 2020). Esto a su vez implica que, si en el año contable no se cuenta con el servicio ecosistémico de retención de sedimentos aguas arriba del embalse, una buena parte de estos habrían sido retenidos por el embalse y una fracción menor habría continuado con el flujo en dirección aguas abajo. En otras palabras, la presencia

del embalse condiciona la magnitud de Servicios Ecosistémicos al que pueden acceder los potenciales beneficiarios aguas abajo del mismo.

Aunque con magnitudes mucho menores, algo similar va a ocurrir con los sistemas de acueducto o los distritos de riego. En estos una parte de los sedimentos que van a ingresar a dichos sistemas no retornarán fácilmente al río Sinú. Por ejemplo, a partir de los conversatorios con los representantes de los distritos de riego, se supo que buena parte de los sedimentos que entran a estos sistemas por los usuarios del distrito los utilizan para rellenar y adecuar sus terrenos. Así, esta conceptualización topológica evidenció la necesidad de diferenciar entre Urrá I y los beneficiarios del SE aguas abajo.

### 3.6 Determinación de la oferta de Servicios Ecosistémicos por activo ecosistémico

Con base en los hallazgos de la etapa anterior, resultó conveniente calcular la oferta de Servicios Ecosistémicos por activo ecosistémico a nivel de subzona hidrográfica. En la tabla 2 se muestran los resultados de la oferta de Servicios Ecosistémicos de sedimentos evitados. La longitud de las barras indica la proporción de servicio ofrecido por los ecosis-

temas de cada una de las zonas. En las tablas 3 y 4 se presentan los resultados de los servicios de suministro de agua en cantidad y de mantenimiento de caudales bajos para el cuatrimestre más seco. No obstante, los caudales en la condición de línea base resultaron mayores que los correspondientes al periodo contable.

Tabla 3-1. Oferta de SE de erosión evitada y retención de sedimentos por tipo de ecosistema y subzona hidrográfica

	Directos Caribe Golfo de Morros- quillo (1205)	Alto Sinú - Urrá (1301)	Medio Sinú - Urrá (1301)	Bajo Sinú - Urrá (1301)	Área de conta- bilidad ecosis- témica (ACE)
Agroecosistema	13	58	35	16	122
Arbustal	0	-	0	0	0
Bosque	3	65	2	1	71
Bosque fragmentado	4	23	6	0	34
Complejos rocosos	-	-	0	-	0
Cuerpo de agua artificial	0	3	0	0	3
Fondos blandos	0	-	-	-	0
Herbazal	-	-	0	0	0
Laguna	0	-	0	0	0
Llanura mareal	-	-	-	-	-
Playas	-	-	-	0	0
Pradera de pastos marinos	0	-	-	-	0
Río	-	6	0	0	7
Sabana	-	-	0	0	0
Sin información	-	-	0	-	0
Subxerofitia	1	-	0	0	2
Territorio artificiali- zado	0	-	0	0	0
Transicional transfor- mado	2	1	1	2	6
Vegetación secun- daria	3	40	4	0	46
Zona pantanosa	0	-	0	0	0
Páramo	-	0	-	-	0
<b>M Ton/año</b>	<b>26</b>	<b>196</b>	<b>49</b>	<b>20</b>	<b>291</b>

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores corresponden a millones de toneladas evitadas por año.

Tabla 3-2. Oferta de Servicios Ecosistémicos de suministro de agua medio anual en cantidad por tipo de ecosistema y subzona hidrográfica

	Directos Caribe Golfo de Morrosquillo (1205)			Alto Sinú - Urrá (1301)			Medio Sinú (1302)			Bajo Sinú (1303)		
	Periodo contable	Línea Base	Diferencia	Periodo contable	Línea Base	Diferencia	Periodo contable	Línea Base	Diferencia	Periodo contable	Línea Base	Diferencia
Agroecosistema	215	980	-765	795	1.245	-450	1.832	3.756	-1.924	1.182	3.168	-1.986
Arbustal	1	4	-3	-	-	-	5	11	-7	1	2	-2
Bosque	39	148	-108	4.763	6.926	-2.163	62	118	-56	28	99	-71
Bosque fragmentado	17	98	-81	390	635	-245	75	147	-72	0	2	-1
Complejos rocosos	-	-	-	-	-	-	1	3	-2	-	-	-
Cuerpo de agua artificial	0	1	-0	85	85	-	3	5	-2	3	7	-4
Fondos blandos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Herbazal	-	-	-	-	-	-	0	0	-0	34	59	-25
Laguna	0	2	-1	-	-	-	45	59	-14	154	303	-149
Llanura mareal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Playas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-0
Pradera de pastos marinos	0	0	-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Río	-	-	-	65	80	-16	26	60	-34	17	36	-20
Sabana	-	-	-	-	-	-	1	4	-3	1	4	-3
Sin información	-	-	-	-	-	-	1	2	-1	-	-	-
Subxerofitia	16	89	-73	-	-	-	6	18	-13	26	66	-40
Territorio artificializado	4	7	-3	-	-	-	6	7	-1	44	49	-5
Transicional transformado	89	260	-171	4	6	-2	229	424	-195	496	851	-356
Vegetación secundaria	16	90	-73	504	779	-275	95	198	-103	9	38	-29
Zona pantanosa	1	3	-2	-	-	-	10	15	-5	153	249	-96
Páramo	-	-	-	17	24	-7	-	-	-	-	-	-
M m³/año	399	1.681	-1.282	6.605	9.800	-3.195	2.398	4.829	-2.431	2.148	4.932	-2.784
Caudal equivalente mes (m³/s)	13	53	-41	209	311	-101	76	153	-77	68	156	-88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-3. Oferta de Servicios Ecosistémicos de mantenimiento de caudales bajos para el periodo diciembre-marzo (época seca) por tipo de ecosistema y subzona hidrográfica

	Directos Caribe Golfo de Morrosquillo (1205)			Alto Sinú - Urrá (1301)			Medio Sinú (1302)			Bajo Sinú (1303)		
	Periodo contable	Línea Base	Diferencia	Periodo contable	Línea Base	Diferencia	Periodo contable	Línea Base	Diferencia	Periodo contable	Línea Base	Diferencia
Agroecosistema	26,1	73,0	-46,8	136,9	178,9	-42,0	355,5	508,5	-153,0	191,0	363,3	-172,2
Arbustal	0,1	0,3	-0,2	-	-	-	0,6	1,4	-0,8	0,1	0,2	-0,2
Bosque	3,9	10,8	-6,9	1.065,7	1.387,6	-321,9	11,3	18,7	-7,5	3,6	8,2	-4,6
Bosque fragmentado	2,2	7,8	-5,6	69,6	96,2	-26,6	13,5	21,4	-7,9	0,1	0,2	-0,1
Complejos rocosos	-	-	-	-	-	-	0,1	0,4	-0,3	-	-	-
Cuerpo de agua artificial	0,0	0,0	-0,0	10,9	10,9	-	0,4	0,6	-0,2	0,3	0,6	-0,3
Fondos blandos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Herbazal	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-0,0	3,5	5,0	-1,5
Laguna	0,0	0,1	-0,0	-	-	-	4,4	5,4	-1,0	13,5	26,2	-12,7
Llanura mareal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Playas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0	-0,0
Pradera de pastos marinos	0,0	0,0	-0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Río	-	-	-	10,3	11,6	-1,4	4,1	7,3	-3,2	2,1	3,6	-1,5
Sabana	-	-	-	-	-	-	0,1	0,4	-0,3	0,2	0,6	-0,4
Sin informacion	-	-	-	-	-	-	0,2	0,4	-0,1	-	-	-
Subxerofitia	2,0	6,9	-4,9	-	-	-	0,8	2,2	-1,3	4,4	7,5	-3,0
Territorio artificializado	0,5	0,6	-0,1	-	-	-	1,2	1,1	0,1	13,4	10,8	2,6
Transicional transformado	8,9	18,1	-9,2	0,7	0,7	-0,0	35,6	49,4	-13,8	55,8	88,5	-32,8
Vegetacion secundaria	1,9	7,1	-5,2	92,8	126,0	-33,2	16,5	28,0	-11,5	1,3	4,4	-3,1
Zona pantanosa	0,1	0,2	-0,1	-	-	-	1,1	1,5	-0,4	12,5	21,3	-8,9
Páramo	-	-	-	0,8	2,4	-1,6	-	-	-	-	-	-
M m³/año	46	125	-79	1.387	1.812	-425	445	647	-201	302	540	-239
Caudal equivalente mes (m³/s)	4,3	11,9	-7,5	131,9	172,4	-40,4	42,4	61,5	-19,1	28,7	51,4	-22,7

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los valores de las Tablas 3-2 y 3-3 corresponden a millones de metros cúbicos por año, salvo en la última fila, donde se incluye el caudal equivalente.

## 3.7 Cuantificación de la cantidad de Servicios Ecosistémicos proporcionado por cada ecosistema y que es usado por cada beneficiario

### 3.7.1 Servicio de erosión evitada y retención de sedimentos

La metodología de cálculo del servicio ecosistémico de retención de sedimentos que se diseñó para esta Área de Contabilidad Ecosistémica buscó representar la conceptualización alcanzada en las fases anteriores (figura 3-2).

En términos generales, el proceso partió de los resultados producidos mediante el modelo SDR de InVEST, que proporciona la estimación del servicio total de sedimentos evitados, como la suma de los componentes de erosión evitada y retención de sedimentos. Posteriormente, utilizando herramientas de información geográfica, se agregaron los valores de sedimentos por cada una de las subzonas hidrográficas y unidades de ecosistemas. Asimismo, se estimaron los sedimentos provenientes de la cuenca aguas arriba de la represa de Urrá I y que quedarían atrapados al ingresar al embalse. Para ello se usó la curva de Brune (Brune, 1973), que relaciona la eficiencia de atrapamiento de sedimentos con el tiempo promedio de retención del agua en el embalse —estimado como el cociente entre la capacidad del reservorio y la caudal afluente anual medio—. En el caso de Urrá se obtuvo una eficiencia de atrapamiento del 90%. Lo anterior implica que el 10% de sedimentos restantes atraviesa el embalse, y fluye hacia abajo del sitio de represa y se adiciona a los sedimentos depositados en las subzonas ubicadas aguas abajo (1302 y 1303). En el caso de la subzona 1205, los sedimentos disponibles para ser transportados por las corrientes superficiales corresponden únicamente a los producido dentro de dicha área, por lo cual se trataron de manera independiente.

Posteriormente, se procedió a estimar cuantos sedimentos podrían ingresar a los sistemas de acueductos y cuantos continuarán fluyendo por el río. Esto depende de varios factores entre los que se destacan en primer lugar, la capacidad hidráulica de las corrientes superficiales para transportar sedimentos es limitada, lo cual, implica que posiblemente no todos los sedimentos que llegarían al cauce principal producto de la erosión de las laderas podrían ser transportados. Por otra parte, la cantidad de sedimentos que ingresan a los sistemas de acueductos dependen de la profundidad a la cual el agua es captada. Muchos acueductos de la zona cuentan con captaciones superficiales flotantes (la concentración de sedimentos suele ser menor en la superficie y máxima en el lecho de la corriente). Pero también, la cantidad de sedimentos que ingresan a los sistemas de acueductos es función de la capacidad máxima de las plantas. Cuando los ríos presentan niveles de turbidez superiores a los que pueden ser tratados en una planta de potabilización (entre 4.000 y 5.000 NTU), suele detenerse la operación de las plantas, por lo cual, los sedimentos que ingresan a estos sistemas corresponden a los periodos en los que las concentraciones pueden ser tratadas.

Por todas estas razones, la estimación del efecto de la cantidad de sedimentos en los servicios de acueducto es relativamente complejo. Idealmente, se requieren datos detallados sobre la dinámica del transporte de los sedimentos en las fuentes de agua y la capacidad de los sistemas de tratamiento, y de información de variables, entre otras, los niveles de turbidez y la distribución de sedimentos.

Para efectos de formar una primera versión de la valoración, se propuso un enfoque simplificado,

basado en información contextual disponible en la zona, considerando los siguientes supuestos:

1. Que las concentraciones máximas de sedimentos que alcanzó el río Sinú antes de la construcción de la presa proveen un valor de referencia de la capacidad máxima de transporte de sedimentos del río Sinú, de 0,05 kg/m<sup>3</sup>.
2. Asimismo, que durante el año 2016 no hubo vertimientos (reboses) en el embalse de Urrá I, lo cual implica concentraciones bajas de sedimentos durante el año contable.
3. Que varias de las captaciones de los acueductos de la región son flotantes, y que esta concentración promedio únicamente correspondería a la que ingresaría cuando los acueductos estuvieran en funcionamiento. En caso de excederse la concentración, la planta deja de operar, y el impacto corresponde al tiempo en que no es posible prestar el servicio de distribución de agua a los usuarios.
4. En la condición de línea base, los sedimentos originados por los procesos de erosión y retención, excederá sustancialmente las concentraciones históricas de sedimentos transportadas por el río Sinú. Con base en estas condiciones decidió utilizar un umbral máximo de 0,05 kg/m<sup>3</sup>. Dicha aproximación debe ser mejorada, en la medida en la que se cuente con mejor información.

De esta manera, se estimaron los valores totales de sedimentos que ingresarían a los sistemas de acueducto en las condiciones del año contable (2016) y de línea base (condición de suelo desnudo), y los tiempos fuera de servicio en los casos en los que se excedería la concentración máxima admisible en las plantas de tratamiento. Para ello, se multiplicaron los valores de concentración por los volúmenes de demanda hídrica reportados en el Estudio Nacional del Agua del año 2018 para los sectores doméstico y

servicios. Así mismo, estos valores fueron ajustados por la proporción entre el volumen de agua que es captada de fuentes superficiales respecto al volumen total captado en la cuenca (fuentes superficiales y subterráneas).

### 3.7.2 Servicios de cantidad de agua y mantenimiento de caudales bajos

En el caso de los Servicios Ecosistémicos de Suministro de agua en cantidad y de Mantenimiento de caudales bajos el proceso se detuvo en esta etapa. Las razones por las que no se continuó incluyen:

Los resultados del modelo SWY indican que al comparar el año contable respecto a la condición de línea base (suelo degradado), los caudales medios anuales se incrementarían en las cuatro subzonas hidrográficas.

Los resultados del modelo SWY indican que al comparar el año contable respecto a la condición de línea base, los caudales bajos se incrementarían.

En términos de cantidad de agua, los tres representantes de los potenciales beneficiarios, con quienes se sostuvieron conversatorios, manifestaron que la cantidad de agua que transita por el río Sinú es mucho mayor a la demanda de agua, incluso en época de caudales bajos. Es claro que esta situación puede no ser representativa de todos los potenciales beneficiarios del Área de Contabilidad Ecosistémica, como en las situaciones en las que no se capta el agua del río Sinú, sino de corrientes menores. No obstante, con estos últimos no fue posible llevar a cabo los conversatorios.

En gran medida, dichos incrementos de caudal obedecen a la reducción en la evapotranspiración debido a la ausencia de coberturas vegetales en la condición de línea base seleccionada. Sin embargo,

tal situación podría provocar una reducción en el contenido de humedad atmosférica vientos abajo del Área de Contabilidad Ecosistémica; es decir, los incrementos de caudales en la cuenca en condición de línea base, podrían darse a expensas de la generación de sequías meteorológicas en otras regiones. Adicionalmente, un incremento en los caudales podría ocasionar un mayor riesgo por inundación dentro de la misma cuenca.

En cuanto al incremento de los caudales en condición de línea base, es necesario aclarar que esto no

necesariamente debe entenderse como algo mejor desde el punto de vista del agua. Aun cuando los caudales medios mensuales bajos con el ecosistema de línea base sean mayores a los del año de la contabilidad, es de esperarse que esta situación no se mantenga a escalas temporales más finas. A escalas diarias y horarias el patrón de los caudales en la condición de línea base puede parecerse mucho más al de la precipitación, de manera que podrían ocurrir varios días sin flujo, pese a que las medias mensuales fueran mayores.

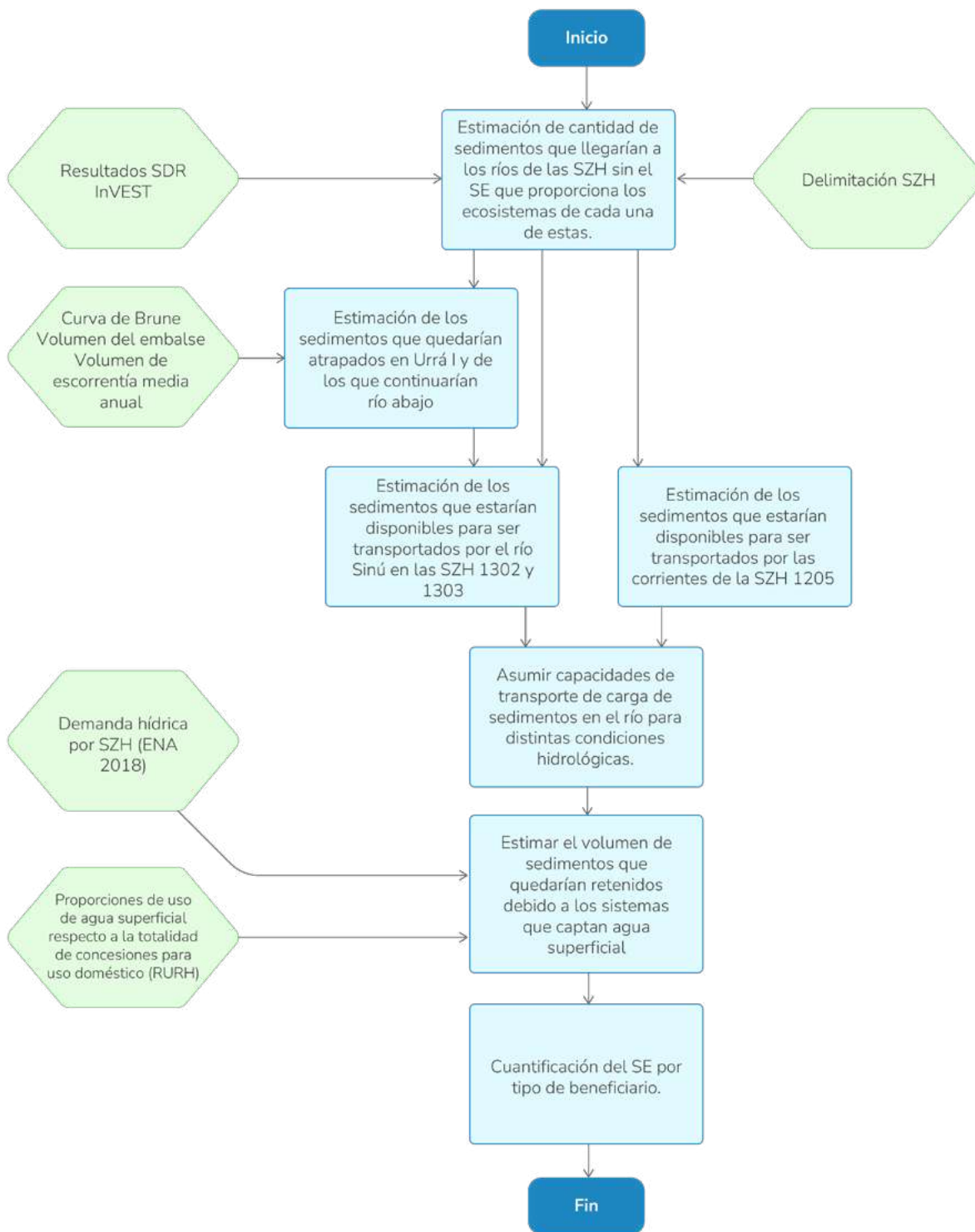
### **3.8 Cuantificación de los Servicios Ecosistémicos proporcionado por cada ecosistema y usado por cada beneficiario**

Los resultados de estos cálculos se indican en la tabla 3-4 y en la figura 3-4 (Diagrama de Sankey).

### **3.9 Diligenciamiento de tablas de la cuenta 3 del marco SCAE-CE — Servicios Ecosistémicos en magnitudes físicas—**

Finalmente, los resultados de los Servicios Ecosistémicos en magnitudes físicas, correspondientes a la cuenta 3 del marco SCAE-CE, se presentan en la tabla 3-5 (tabla estilizada).

Figura 3-3. Metodología de cálculo para la estimación del SE de retención de sedimentos y de su distribución entre los distintos beneficiarios



Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología planteada en este documento (2023).

Tabla 3-4. Cuenta 3. Flujo de Servicios Ecosistémicos hídricos en unidades físicas, de la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo

	SUMINISTRO (Unidad= M Ton/año)		
	Retención de sedimentos	Suministro de agua en cantidad	Mantenimiento de caudales bajos
Agroecosistema	122,5	Sin datos (Ver nota 2)	Sin datos (Ver nota 3)
Arbustal	0,2		
Bosque	70,7		
Bosque fragmentado	33,5		
Complejos rocosos	0,0		
Cuerpo de agua artificial	2,9		
Fondos blandos	0,0		
Herbazal	0,0		
Laguna	0,1		
Llanura mareal	0,0		
Playas	0,0		
Pradera de pastos marinos	0,0		
Río	6,6		
Sabana	0,2		
Sin informacion	0,1		
Subxerofitia	1,8		
Territorio artificializado	0,1		
Transicional transformado	6,0		
Vegetacion secundaria	46,3		
Zona pantanosa	0,1		
Páramo	0,1		
<b>Suministro Total</b>	<b>291,1</b>		

	USO (Unidad= M Ton/año)				
	Retención de sedimentos			Suministro de agua en cantidad	Mantenimiento de caudales bajos
	Retención de sedimentos	Sedimentos que se almacenan en los sectores	Sedimentos que fluyen a través de los sectores		
Agrícola	Sin datos (Ver nota 1)			Sin datos (Ver nota 2)	Sin datos (Ver nota 3)
Doméstica	105,0	0,002	105,0		
Energía	186,1	176,3	9,8		
<b>Uso total</b>	<b>291,1</b>	<b>176,3</b>	<b>114,8</b>		

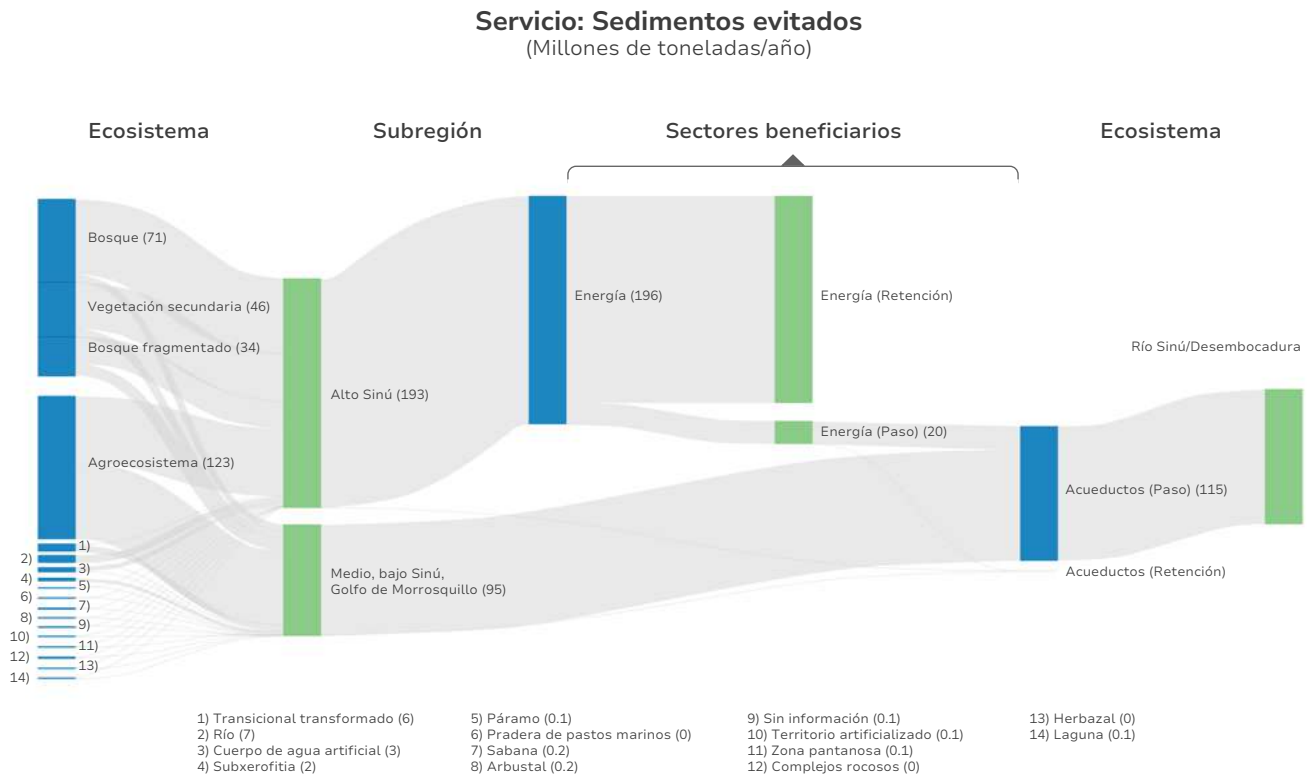
Fuente: Elaboración propia.

*Nota 1:* En general, para el ACE no se pudo verificar la existencia de este SE para este sector. En algunos casos porque no se pudo sostener el conversatorio con los potenciales beneficiarios del servicio (SZH 1205 Y 1301) y en otros (SZH 1302 y 1303) porque a partir de la conceptualización de la información recolectada no es posible afirmar que el servicio sí exista.

*Nota 2:* En esta ACE no se evidenció servicio de suministro de cantidad de agua. De acuerdo con los resultados de la modelación, al reemplazar el ecosistema del año contable por el correspondiente a la línea base (sin vegetación y con suelo de baja infiltración) los caudales medios anuales podrían incrementar. No obstante, esto no debe entenderse necesariamente como una mejor condición desde el punto de vista del agua, pues una disminución en la evapotranspiración de estas coberturas vegetales puede darse a expensas de sequías meteorológicas en otras ACE ubicadas vientos abajo. Igualmente, dicho incremento en caudales medios anuales podría darse a expensas de un mayor riesgo por inundación (SE no evaluado en este piloto).

*Nota 3:* En esta zona no se evidenció servicio de mantenimiento de caudales bajos. De acuerdo con los resultados de la modelación, al reemplazar el ecosistema del año contable por el correspondiente a la línea base (sin vegetación y con suelo de baja infiltración) los caudales bajos a resolución mensual podrían incrementar. No obstante, esto no debe entenderse necesariamente como una mejor condición, pues una disminución en la evapotranspiración de las respectivas coberturas vegetales puede dar lugar a sequías meteorológicas en otras ACE ubicadas vientos abajo. Adicionalmente, las comparaciones de los caudales a resolución mensual constituyen una limitación para poder afirmar que está ocurriendo una disminución en los “caudales bajos”. Aun cuando los caudales medios mensuales bajos con el ecosistema de línea base pudieran ser mayores a los del año de la contabilidad, esto no necesariamente implica a una mejor condición para los beneficiarios. Por ejemplo, cabe esperarse que a escalas diarias y horarias el patrón de los caudales en la condición de línea base se parezca mucho más al de la precipitación, de manera que podrían ocurrir varios días sin flujo, pese a que las medias mensuales fueran mayores.

Figura 3-4. Diagrama de Sankey de la Cuenta 3. Flujo del Servicios Ecosistémicos hídrico de erosión evitada y retención de sedimentos en unidades físicas, de la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo



Fuente: Elaboración propia.

## 3.10 Aplicación de la valoración económica

El año seleccionado para esta aplicación de la metodología es el 2016. Esto implicó que los datos de precios, consumos y facturaciones debieron ser buscados o ajustados para que fueran correspondientes a ese año. Este punto es importante para que los resultados sean consistentes. En el caso que no se contó con la información necesaria, esta fue ajustada usando el índice de precios al consumidor (IPC).

Para el piloto de la aplicación de la metodología en su fase económica se contó con información de mercado y entrevistas a actores para la consecución de información. Como se mostró en la sección biofísica, los cálculos se hicieron para los distintos beneficiarios existentes en la cuenca. Hay valoraciones para usuarios que solamente están en ciertas subzonas hidrográficas y otras en toda la cuenca, pero con diferentes parámetros.

En el caso de los hogares la entrevista con la empresa de Aguas de Montería, Veolia E.S.P, permitió identificar algunos datos para calibrar las funciones de costo mencionadas en la metodología. Asimismo, la entrevista fue crucial para comprender el problema de los sedimentos y aterrizar conceptos e ideas preconcebidas acerca de los procesos biofísicos y económicos que ocurren en la cuenca.

### 3.10.1 Retención de sedimentos

Hay tres tipos de datos en el análisis: los datos biofísicos, económicos y demográficos. Los datos provenientes del análisis biofísico: cantidad de sedimentos y tiempo fuera de la planta son parte fundamental de los cálculos de valoración económica. Estos datos permiten transmitir el servicio ecosistémico en términos económicos. Muchos de los datos económicos provienen de la actividad específica de los acueductos y el consumo de agua potable. No obstante, existen datos demográficos que terminan

de completar el panorama de consumo, especialmente en volumen de agua total.

- *Hogares (Doméstico)*

En la cuenca del río Sinú el flujo de agua tiende a permanecer constante en el tiempo, aún en los meses secos es posible mantener el servicio de acueducto sin interrupciones. Sin embargo, los sedimentos sí son un problema para la prestación del servicio de acueducto en los meses de lluvia. Lo anterior debido a que los sistemas de tratamiento no pueden procesar la cantidad de sedimentos y material biológico que trae el agua captada del río. Estos eventos aportan información para la calibración de la valoración económica.

- *Datos de referencia para ajustar la valoración*

Según cálculos de la empresa Veolia ESP, los eventos de lluvias de mayor intensidad producían cambios en turbiedad al pasar de un valor base de 200 NTU a unos 5.000 NTU. Estos cambios de sedimentos en las fuentes de agua superficial a su vez modifican el consumo de coagulantes, en hasta 2,4 veces el costo inicial. Con estos valores se calculó el parámetro de costos de sedimentación de la ecuación 1. Es importante mencionar que Veolia ESP es una de las empresas de acueducto más grande en la región y que este parámetro fue aplicado de forma similar en los otros análisis de retención de sedimentos en la cuenca para los hogares.

No obstante, es fundamental aclarar que se desconocen las relaciones entre los niveles de turbiedad y las concentraciones de sedimentos, al igual que la capacidad de transporte de sedimentos del río. Esto limita la valoración del servicio para los sistemas de acueductos. Sin embargo, es posible plantear algunas hipótesis al respecto que permitan estimar el servicio:

Cada vez que se generen vertimientos en el embalse de Urrá I, en un escenario de disponibilidad de sedimentos tan alta, el río siempre superará los 4.000 NTU. Según información de XM en lo que ha corrido del año 2022 esta situación ha ocurrido en 40 días (el registro más alto reportado en la historia de la central). En el año 2016 no ocurrió ningún vertimiento por parte de Urrá.

Adicionalmente, durante el 30% de la época de caudales altos el río tendrá garantizada la capacidad hidráulica para transportar los sedimentos que se encuentran disponibles, superando así el umbral de los 4.000 NTU.

Durante toda la temporada de caudales altos el río tendrá la capacidad hidráulica para transportar sedimentos suficientes de manera que se superen los 1.000 NTU.

Las anteriores hipótesis son provisionales. Sin embargo, fue necesario plantearlas para continuar con el piloto de valoración. En la medida en la que se realicen trabajos adicionales, o se decida implementar las cuentas, las hipótesis deberán ser puestas a prueba de manera que se cuente con estimaciones más confiables.

Tener una aproximación más certera es viable. Por una parte, las series de tiempo de los monitoreos de turbidez del agua en las fuentes, aunque no se recibieron, existen; de manera que es factible construir las relaciones entre esta variable y la carga de sedimentos. Por otro lado, la capacidad de transporte de los ríos puede ser estimada mediante herramientas como la modelación hidrodinámica del río. Aunque no se obtuvieron en el piloto, es posible que existan esas modelaciones; por ejemplo, que las hayan producido durante la evaluación de los

impactos ambientales del embalse de Urrá I. En caso de que no exista, es posible construir los modelos utilizando herramientas computacionales de modelación hidráulica, entre ellos, HEC-RAS<sup>12</sup>.

Los otros datos relacionados con el consumo y la facturación provienen de la base de datos del SUI. Esta base de datos es muy útil para la valoración económica porque proporciona información específica de la empresa y datos del año de referencia para el análisis.

Los costos de tratamiento de agua por metro cúbico no se encontraron en ninguna fuente oficial; así que fueron tomados de una nota de prensa y ajustados por inflación. Este dato puede mejorar en precisión y calidad con fuentes de información apropiadas.

- *Resultados de la valoración*

Para el periodo de tiempo estudiado (año 2016) el equivalente en capital al servicio ecosistémico de retención de sedimentos, para los acueductos, en el total de la cuenca correspondió a \$34.400 millones. Los resultados detallados de la valoración se presentan en las tablas 3-4 y 3-6. El valor del servicio de retención de sedimentos en Montería equivale más o menos a la mitad del valor de sedimentos para el resto de la cuenca. Mientras que para Montería la relación entre el costo por los sedimentos que transitan por las fuentes de agua y los que son retenidos en el sistema es de 1 a 9, para otros municipios de la cuenca la relación es más simétrica.

Estas diferencias en la valoración muestran la importancia de un abordaje local, toda vez que el impacto de los sedimentos transitando por la fuente hídrica corresponde a costos de oportunidad importantes

---

12 HEC-RAS es un programa de ordenador que modeliza la hidráulica de flujo de aguas de ríos naturales y de otros canales, por sus siglas en inglés, el cual fue desarrollado por Hydrologic Engineering Center's (HEC), en California, Estados Unidos; River Analysis System (RAS)

en la valoración. Una evaluación más detallada de este resultado muestra la sensibilidad que tienen los pequeños acueductos a incrementos en cortes. Un análisis más detallado podría mejorar la confiabi-

lidad, permitiendo evitar la construcción de servicios que tienen una demanda continua del servicio de agua potable.

*Tabla 3-5. Valoración económica anual para el servicio ecosistémico de retención de sedimentos a los acueductos para el total de la cuenca del Río Sinú*

Servicio	Valoración Montería (millones)	Valoración otros municipios (millones)	Valor total para la cuenca (millones)
Erosión evitada y retención de sedimentos que se almacenan en los sectores (ingreso y retención en embalses y plantas de potabilización)	\$ 14.055	\$ 20.359	\$ 34.415
Sedimentos evitados, que transitarían por el sistema social (afectando la operación continua de infraestructuras por menor calidad de agua)	\$ 2.003	\$ 7.266	\$ 9.270

Fuente: Elaboración propia.

Este dato es particularmente interesante porque el año 2016 fue un año importante desde la perspectiva meteorológica. En el año 2016 Colombia se vio afectada por la condición de El Niño<sup>13</sup>, al menos durante el primer semestre del año. Teniendo en cuenta este comportamiento y la entrevista con Veolia en periodos de sequía la cantidad de sedi-

- *Energía*

El embalse de Urrá I, con una turbinación de 340 MW para un volumen total de 1.616,71 millones de m<sup>3</sup>, es una pieza fundamental en la generación eléctrica y un activo importante para el Caribe. El embalse también tiene entre sus objetivos la estabilización de caudales del río Sinú para poblaciones en la cuenca media y baja, en particular para reducir la magnitud de inundaciones o sequías extremas. Un posible acortamiento de la vida útil del embalse en el largo plazo podría representar un costo signifi-

mentos es baja comparada con otros periodos de tiempo, esto implica que el año estudiado es uno en el que la cantidad de sedimentos fue baja. Así, en ausencia de bosques el precio destinado para el tratamiento de agua habría tenido un impacto importante en las finanzas de las empresas de acueducto y en los hogares.

cativo para la capacidad de mantener los beneficios actuales del embalse.

- *Datos de referencia para ajustar la valoración*

En esta aplicación de la metodología los datos empleados fueron de dos tipos, biofísicos y económicos. Los datos biofísicos están en términos de los años de vida que perdería el embalse si la vegetación de la cuenca del Alto Sinú no evitara la llegada del volumen de sedimentos que se indicó en el capítulo

anterior. Los datos económicos corresponden a los precios de la energía eléctrica y los costos fijos de operación que tiene la presa.

En cuanto a la reducción de vida útil del embalse, es importante aclarar que la estimación representa más un orden de magnitud, que un valor específico. Algunas de las causas de lo anterior corresponden a:

- El procedimiento de cálculo comparó batimetrías efectuadas con estándares distintos; sin embargo, fue la única fuente con la que se contó para tener una aproximación a la pérdida actual de vida útil del embalse.
- Se desconoce cuál es la “vida útil” estimada que tiene el proyecto en este momento, pues no fue posible reunirse con representantes de la central hidroeléctrica.
- Los procesos de retención de sedimentos en embalses no ocurren de manera lineal en el tiempo, y varían en la medida que van ingresando sedimentos. En caso de que llegara al embalse la cantidad de sedimentos disponibles por erosión en la cuenca alta, se esperaría una disminución en la eficiencia de atrapamiento, que no fue considerada en este ejercicio de valoración.
- Los procesos de transformación de ecosistemas son graduales, no discretos. La estimación asume un cambio inmediato de la cobertura vegetal del ecosistema a suelo desnudo, desconociendo así que el proceso es gradual y con ello, que el incremento en los sedimentos es progresivo.
- El modelo SDR utiliza la ecuación USLE que tiene menor desempeño en zonas con altas pendientes, como es el caso de la subzona del Alto Sinú.
- En la medida en que la operación del embalse esté llevando a cabo algún procedimiento para limitar la retención de sedimentos, ya sea mediante la apertura de la descarga de fondo, o mediante una operación enfocada en facilitar el tránsito de sedimentos hacia aguas abajo del embalse, el volumen retenido podría ser menor. No obstante, esto ocurriría a expensas de actuales beneficiarios aguas abajo del embalse.

En los datos económicos es importante hacer algunas salvedades. Buena parte de la información provino del informe financiero de la hidroeléctrica de Urrá para el año 2016. De allí se obtuvieron los datos de los costos operativos. Así mismo fue claro que los ingresos de la hidroeléctrica provenían en su mayoría de contratos a largo plazo<sup>14</sup>. Los precios empleados en el cálculo corresponden al promedio de los precios de contratos con vigencia del año 2016 firmados en diciembre de 2015, marzo de 2016 y diciembre de 2016.

- *Resultados de la valoración*

Según el resultado físico, la acumulación de sedimentos está relacionada con una pérdida en volumen equivalente a perder 14 años de vida útil como se menciona en la sección 4.1. Así, siguiendo las ecuaciones 3, 4 y 5 el resultado del impacto de la retención en sedimentos por pérdidas evitadas en la hidroeléctrica de Urrá corresponde a \$395.269 millones. Esta es una cifra cuantiosa, toda vez que corresponde al 5 % del valor agregado de la región

14 Estos contratos son bastante comunes en el sector eléctrico. Se hacen directamente entre los generadores y distribuidores y pueden tener plazos de meses hasta años. Se elaboran con el fin de mejorar la estabilidad en precios para ambas partes y garantizar el suministro.

Caribe para el año 2016; además, si se compara con el impacto que tienen los sedimentos en los hogares.

Resulta valioso mencionar que hay otros aspectos más allá de esta valoración económica de la reducción en años de servicio del embalse. Entre ellos está la no recuperación de las inversiones hechas en la construcción del embalse. Los recursos para la construcción de la presa provinieron mayoritariamente del erario nacional; es decir, la pérdida de años de servicio implicaría pérdida en el erario. Además, la posibilidad de reducir el porcentaje de participación de hidroeléctricas en el largo plazo es una posibilidad real que debe evaluarse dentro del costo económico

que implica la acumulación de sedimentación. En este contexto el cuidado y conservación de ecosistemas que reduzcan la cantidad de sedimentos en el embalse es una acción real que se ve traducida en un ahorro a largo plazo.

La tabla 3-6, muestra el resultado completo de la valoración del servicio ecosistémico en unidades monetarias. El valor asociado a cada ecosistema (primera fila), está asociado con el peso que tiene el ecosistema en el suministro hídrico de la cuenca. Las filas correspondientes a uso totalizan los datos para el total de la cuenca en acueductos y energía.

Tabla 3-6. Cuenta 4: Flujo de Servicios Ecosistémicos

	SUMINISTRO (Unidad= M Ton/año)		
	Retención de sedimentos	Suministro de agua en cantidad	Mantenimiento de caudales bajos
Agroecosistema	138.301	Sin datos (Ver nota 2)	Sin datos (Ver nota 3)
Arbustal	52		
Bosque	134.283		
Bosque fragmentado	51.016		
Complejos rocosos	4		
Cuerpo de agua artificial	5.815		
Fondos blandos	0		
Herbazal	3		
Laguna	33		
Llanura mareal	-		
Playas	0		
Pradera de pastos marinos	0		
Río	13.023		
Sabana	59		
Sin información	18		
Subxerofitia	530		
Territorio artificializado	25		
Transicional transformado	3.184		
Vegetación secundaria	83.161		
Zona pantanosa	22		
Páramo	157		
<b>Suministro Total</b>	<b>429.684</b>		

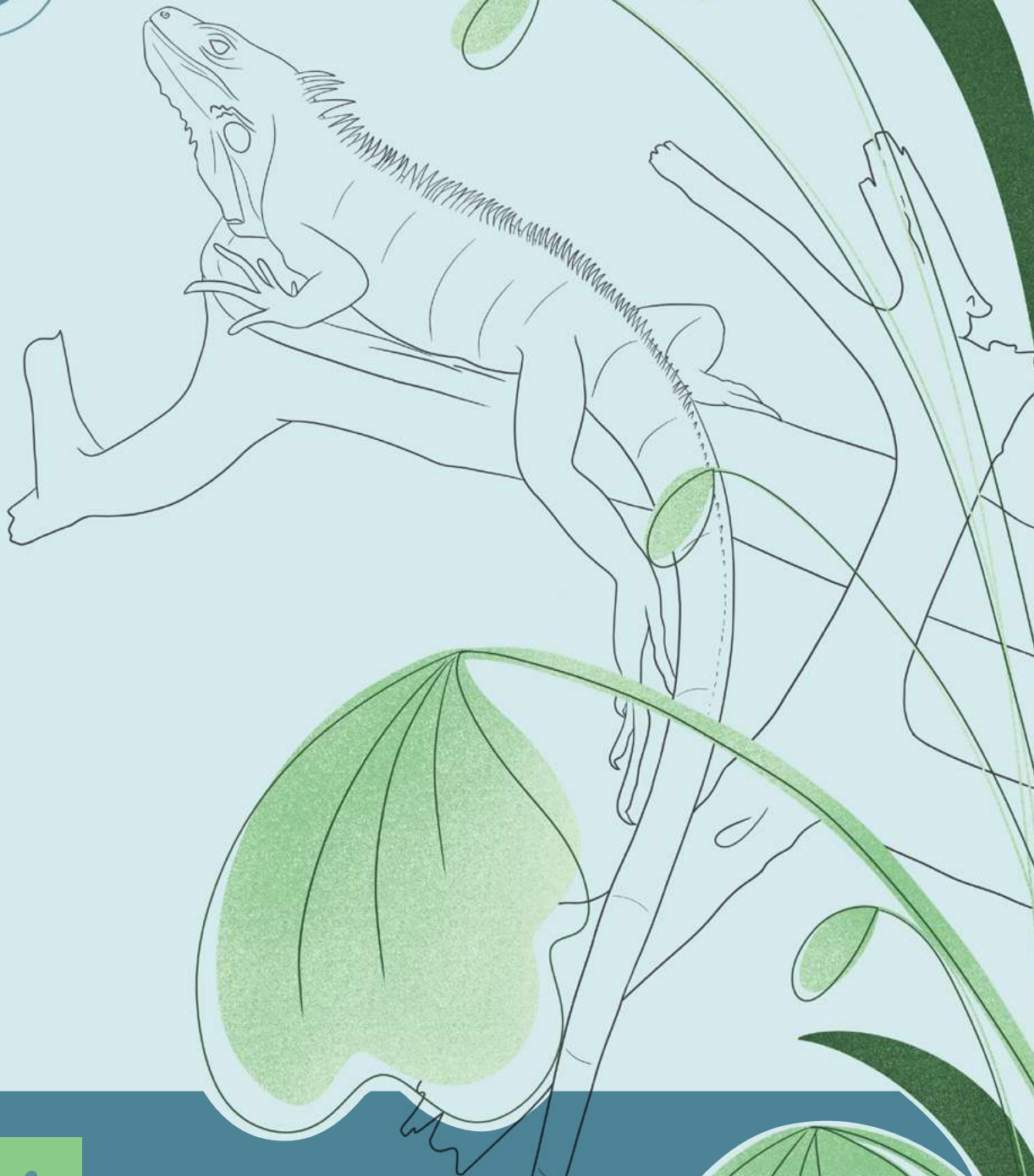
	USO (Unidad= M Ton/año)				
	Retención de sedimentos			Suministro de agua en cantidad	Mantenimiento de caudales bajos
	Retención de sedimentos	Sedimentos que se almacenan en los sectores	Sedimentos que fluyen a través de los sectores		
Agrícola	Sin datos (Ver nota 1)			Sin datos (Ver nota 2)	Sin datos (Ver nota 3)
Doméstica	34.415	25.145	9.270		
Energía	395.269	395.269			
<b>Uso total</b>	<b>429.684</b>				

Fuente: Elaboración propia.

*Nota 1:* En general, para el ACE no se pudo verificar la existencia de este SE para este sector. En algunos casos porque no se pudo sostener el conversatorio con los potenciales beneficiarios del servicio (SZH 1205 Y 1301) y en otros (SZH 1302 y 1303) porque a partir de la conceptualización de la información recolectada no es posible afirmar que el servicio sí exista.

*Nota 2:* En esta ACE no se evidenció servicio de suministro de cantidad de agua. De acuerdo con los resultados de la modelación, al reemplazar el ecosistema del año contable por el correspondiente a la línea base (sin vegetación y con suelo de baja infiltración) los caudales medios anuales podrían incrementar. No obstante, esto no debe entenderse necesariamente como una mejor condición desde el punto de vista del agua, pues una disminución en la evapotranspiración de estas coberturas vegetales puede darse a expensas de sequías meteorológicas en otras ACE ubicadas vientos abajo. Igualmente, dicho incremento en caudales medios anuales podría darse a expensas de un mayor riesgo por inundación (SE no evaluado en este piloto).

*Nota 3:* En esta zona no se evidenció servicio de mantenimiento de caudales bajos. De acuerdo con los resultados de la modelación, al reemplazar el ecosistema del año contable por el correspondiente a la línea base (sin vegetación y con suelo de baja infiltración) los caudales bajos a resolución mensual podrían incrementar. No obstante, esto no debe entenderse necesariamente como una mejor condición, pues una disminución en la evapotranspiración de las respectivas coberturas vegetales puede dar lugar a sequías meteorológicas en otras ACE ubicadas vientos abajo. Adicionalmente, las comparaciones de los caudales a resolución mensual constituyen una limitación para poder afirmar que está ocurriendo una disminución en los “caudales bajos”. Aun cuando los caudales medios mensuales bajos con el ecosistema de línea base pudieran ser mayores a los del año de la contabilidad, esto no necesariamente implica a una mejor condición para los beneficiarios. Por ejemplo, cabe esperarse que a escalas diarias y horarias el patrón de los caudales en la condición de línea base se parezca mucho más al de la precipitación, de manera que podrían ocurrir varios días sin flujo, pese a que las medias mensuales fueran mayores.



4

## Discusión

## 4.1 Sobre la contabilidad ecosistémica en la cuenca del río Sinú

Entre los SE hídricos evaluados en el área de contabilidad ecosistémica del río Sinú y el golfo de Morrosquillo, el servicio ecosistémico de **mayor relevancia es la erosión evitada y retención de sedimentos**. Al comparar los flujos de sedimentos entre la condición de línea base —condición de suelo desnudo—, con respecto a la distribución actual de los ecosistemas de la cuenca, se cuantificó el servicio en 291,1 millones de toneladas anuales de sedimentos. La vegetación de bosques, bosques fragmentados y vegetación secundaria, y en menor medida los agroecosistemas localizados en la cuenca alta del río Sinú, reducen sustancialmente la tasa de erosión y transporte de sedimentos —en relación 14 a 1 con respecto al suelo desnudo—. Ecosistemas con mayores niveles de transformación, entre estos los agroecosistemas, aún están desempeñando un papel trascendental en procesos de reducción de la erosión, lo cual resalta el valor del suelo como componente del ecosistema.

De manera similar, al evaluar el Área de Contabilidad Ecosistémica no se evidenció servicio de suministro de cantidad de agua. Es importante aclarar que, esto no quiere decir que no exista disponibilidad o uso del agua en la región, sino que la disponibilidad de agua en magnitudes suficientes para los usos actuales, no son atribuibles a la presencia de los ecosistemas, sino a procesos físicos de otra índole. De acuerdo con los resultados de la modelación, al reemplazar el ecosistema del año contable por el correspondiente a la línea base (sin vegetación y con suelo de baja infiltración) los caudales medios anuales podrían incrementar (en la medida que se reduce sustancialmente el consumo de agua de la vegetación). No obstante, esto no debe entenderse necesariamente como una mejor condición desde el punto de vista del agua, pues una disminución en la evapotranspiración de estas coberturas vegetales puede darse a

expensas de sequías meteorológicas en otras Áreas de Contabilidad Ecosistémica ubicadas vientos abajo, o en patrones de escorrentía más intermitentes que pueden tener efectos adversos. Igualmente, dicho incremento en caudales medios anuales podría darse a expensas de una mayor amenaza por inundación (servicio ecosistémico no evaluado en este piloto). Este resultado permite ilustrar dos aspectos importantes del marco del SCAE:

- La complementariedad entre las métricas del SCAE-MC y SCAE-CE, que aporta aspectos complementarios del agua como recurso, y el agua como resultado de la interacción entre procesos bióticos y abióticos.
- La capacidad de ayudar a identificar brechas en el entendimiento y cuantificación de las funciones de los ecosistemas y sus efectos en los servicios. Por ejemplo, en el caso específico del Área de Contabilidad Ecosistémica del río Sinú, la estimación de un servicio ecosistémico de agua podría complementarse con modelaciones adicionales a las hidrológicas, para considerar efectos de retroalimentación del ciclo hidrológico asociados a la circulación atmosférica de la evapotranspiración de la vegetación.

En la tabla 4-1 se presenta el consolidado de los Servicios Ecosistémicos (SE) hídricos contemplados en este piloto en relación con cada uno de los potenciales beneficiarios identificados en la fase de conceptualización. Como se mencionó, se verificó la existencia de los SE de erosión evitada y retención de sedimentos no solo para los acueductos, sino también del embalse de Urrá I. Sobre los distritos de riego, no puede afirmarse que este servicio ecosistémico exista para el año 2016, debido a las condiciones de uso actuales. En los casos de

los campesinos y pequeños agricultores que no captan el agua del río Sinú, y de los pescadores no fue posible verificar o rechazar las hipótesis de existencia de los SE hídricos.

De acuerdo con los resultados de modelación, los SE de mantenimiento de flujos bajos y de suministro de agua no existen para la cuenca del río Sinú. Sin embargo, no se puede aseverar que estos SE no

existan para el caso de los usuarios que captan el agua de fuentes subterráneas, dadas las condiciones hidrogeológicas de la zona, ni tampoco en el caso de corrientes pequeñas cuyo flujo pueda ser mantenido por dichos aportes. Para poder verificar la existencia de estos SE, en el caso de estos últimos tres beneficiarios se requiere poder llevar a cabo los conversatorios con los actores correspondientes.

*Tabla 4-1. Consolidado de los Servicios Ecosistémicos propuestos para el piloto y de los potenciales beneficiarios identificados para el Área de Contabilidad Ecosistémica para el año contable*

	Acueductos Río Sinú	Embalse de Urrá- río Sinú	Agricultores - río Sinú	Campesinos fuentes distintas al río Sinú	Agricultores fuentes distintas al río Sinú	Pescadores
						
Retención de sedimentos	✓	✓	✗	?	?	?
Mantenimiento de flujos bajos	✗	✗	✗	?	?	?
Suministro de agua	✗	✗	✗	?	?	?

Fuente: Elaboración propia.

El SCAE-CE es un marco de contabilidad de ecosistemas y no de gestión del recurso hídrico, por lo tanto, hay varios problemas del agua que no se pueden visualizar con esta herramienta. Para ello, se requieren marcos que hayan sido concebidos para la gestión y contabilidad del agua. Sin embargo, el SCAE-CE facilita la identificación de varias acciones “gana-gana” entre la gestión del agua y la conser-

vación, por ejemplo, en los bosques de la cuenca alta del río Sinú. También, su implementación aporta elementos en la identificación de vacíos en la información y en el conocimiento de si los diferentes beneficios percibidos en la sociedad dependen (o no) de procesos específicos de los ecosistemas y los bienes y servicios asociados.

## 4.2 Sobre la valoración económica de los Servicios Ecosistémicos en la cuenca del río Sinú

La valoración económica de la sedimentación deja resultados importantes. El sector hidroeléctrico es el mayor beneficiario de la retención de sedimentos. El efecto de los ecosistemas en reducir la pérdida acelerada de la vida útil del embalse de Urrá I y mantener su capacidad de proveer los objetivos de generación de energía, se valoró en \$395.262 millones de pesos. Esta estimación no considera otros beneficios asociados a los menores costos de mantenimiento de las maquinarias hidráulicas, por lo que posiblemente se subestime del valor monetario del servicio. De manera similar, para los acueductos (que incluye los componentes de hogares/doméstico e institucional y servicios conforme a las categorías del Estudio Nacional del Agua), se cuantificó el valor de los sedimentos evitados en \$34.415 millones/año, equivalentes a menores costos de operación y menores tiempos fuera de servicio de las infraestructuras de potabilización. En contraste, en el caso del sector de la agricultura, la información suministrada por la Agencia de Desarrollo Rural (ADR), respecto al efecto de las cargas de sedimentos en la operación de los canales de riego y drenaje, sugiere que las cargas de sedimentos no constituyen un factor determinante en los requerimientos o frecuencia de

mantenimiento, y por lo tanto no se consideraron atribuibles al servicio ecosistémico.

Un aspecto para resaltar en el análisis es que el embalse tiene un papel importante en la reducción de costos asociados a la sedimentación. En las entrevistas sostenidas con la ADR y Veolia ESP se encontró que luego de la instalación del embalse los caudales y niveles se han mantenido constantes, excepto con las variaciones normales asociadas a los ciclos meteorológicos. Sin el embalse los costos asociados a los tratamientos de sedimentos podrían subir de forma exponencial para los acueductos de la cuenca.

La pérdida de vida útil del embalse debido a acumulación de sedimentos tiene impactos que van más allá de la pérdida económica por la generación eléctrica. Como ya se mencionó, uno de los propósitos del embalse es controlar inundaciones; por ello, la pérdida de su capacidad incrementará el riesgo de inundaciones. Aunque estos impactos se calcularon, es importante tenerlos en cuenta en evaluaciones posteriores.

## 4.3 Otros casos de uso potencial de la contabilidad ecosistémica

Los datos, la modelación y los cálculos que constituyen la base de la contabilidad ecosistémica también pueden aplicarse para responder a preguntas sobre posibles condiciones futuras. Las cuentas del capital natural, incluidas las del SCAE-CE de la ONU, están diseñadas para cuantificar los beneficios de los ecosistemas en el pasado y en el presente. Las

evaluaciones del capital natural pueden utilizarse para comprender una gama más amplia de condiciones, aprovechando gran parte de la misma información utilizada para construir las cuentas del capital natural. Las evaluaciones del capital natural pueden adoptar muchas formas, entre ellas, la exploración

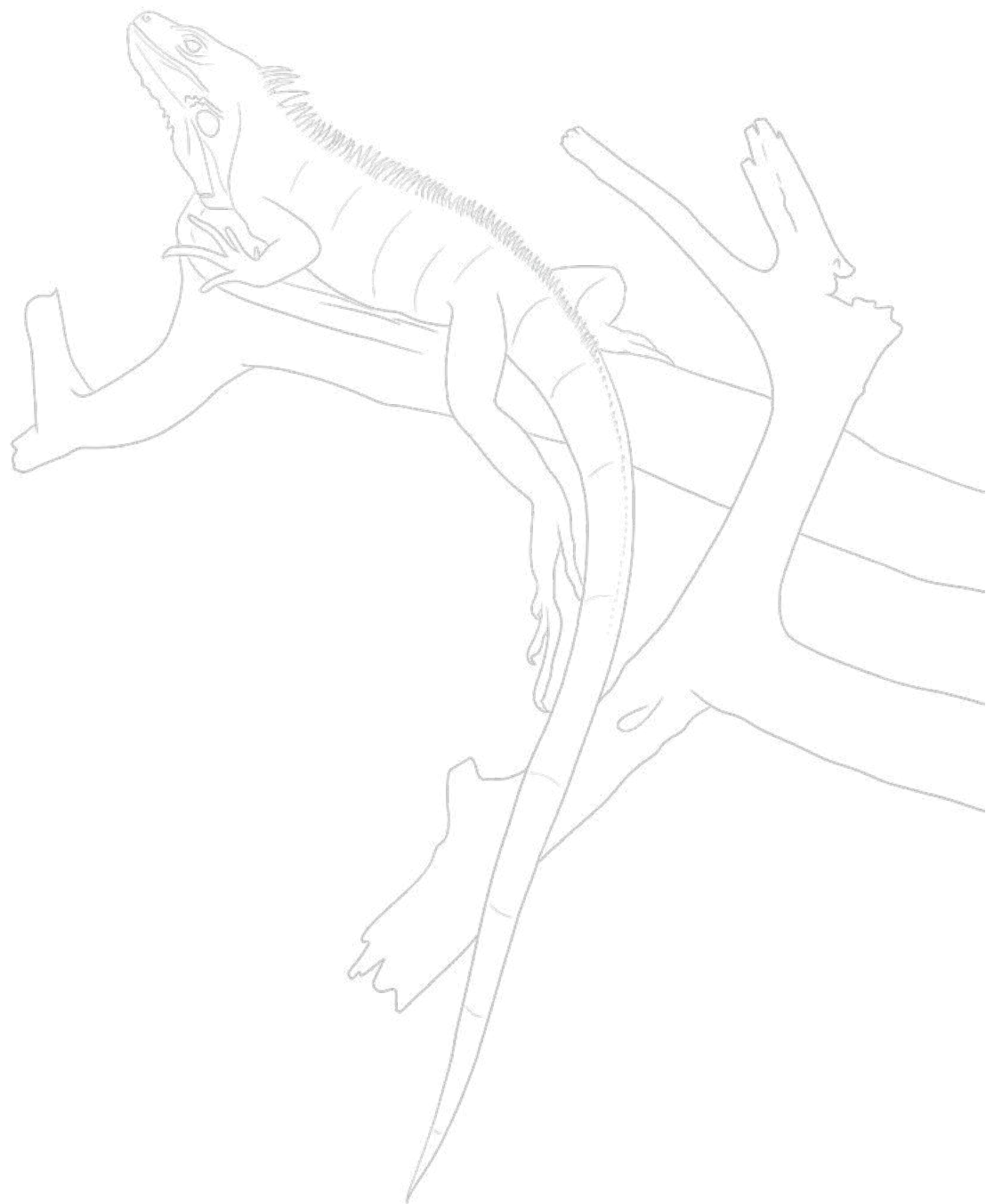
de escenarios futuros, la evaluación de políticas y la priorización de decisiones.

Las evaluaciones del capital natural se han utilizado con frecuencia para evaluar los impactos potenciales del cambio climático e informar los enfoques basados en la naturaleza para la adaptación al clima, por ejemplo, Bremer *et al.* (2018), Kowal *et al.* (2021), Mandle *et al.* (2017), Manley & Egoh (2022), Wedding *et al.* (2022). Los modelos InVEST que constituyen la base de las Cuentas de los Ecosistemas para la calidad del agua y la temporización de los caudales presentados aquí, son capaces de captar los efectos de los escenarios de cambio climático en los servicios ecosistémicos de varias maneras (Mandle *et al.* 2016). En concreto, los modelos InVEST SDR (Sediment Delivery Ratio) y SWY (Seasonal Water Yield) podrían volver a ejecutarse con capas de entrada relacionadas con el clima de las proyecciones de cambio climático para la región. Esto permitiría estimar el impacto del cambio climático en la retención de sedimentos por la vegetación, los sedimentos entregados a las vías fluviales y a los usuarios del agua (por ejemplo, el embalse de Urra, el acueducto regional), y el papel de la vegetación en la regulación de los caudales base y los caudales rápidos.

Este enfoque se ha utilizado en otros casos internacionales. En Myanmar la aplicación de análisis similares mostró los efectos del cambio climático en el aumento en las cargas de sedimentos en los embalses, y un aumento de la importancia de los ecosistemas en la retención de suelos (Mandle *et al.* 2017). Con información sobre las posibles transformaciones en los ecosistemas o las prácticas agrícolas debido al cambio climático, estos cambios también pueden reflejarse en el mapa de uso y cobertura del suelo utilizado en los modelos InVEST. Por último, el cambio climático también puede afectar a la

demanda de agua y a los servicios ecosistémicos relacionados con el agua. Por ejemplo, la agricultura puede necesitar más o menos agua, la localización de la demanda de agua puede cambiar y el precio del agua o el valor de sus contribuciones a la producción agrícola pueden variar. Las proyecciones de este tipo de cambios pueden reflejarse en la traducción de los flujos biofísicos en medidas biofísicas y monetarias de uso.

Las Cuentas de los Ecosistemas presentadas aquí también representan un paso hacia el cálculo del Producto Ecosistémico Bruto (PEB). El PEB es el valor monetario agregado de los bienes y servicios de los ecosistemas en una región determinada, como un departamento, un país, una ciudad o incluso una cuenca hidrográfica (Ouyang *et al.* 2020). De forma análoga al PIB, el PEB proporciona una única métrica monetaria que puede seguirse a lo largo del tiempo para efectuar un seguimiento del rendimiento y fundamentar la toma de decisiones. Dentro de la aprobación de los Activos Ecosistémicos del SCAE, la División de Estadística de la ONU reconoció oficialmente al Producto Ecosistémico Bruto (PEB) como un indicador del cambio en las contribuciones de los ecosistemas a la economía. El PEB puede calcularse sumando las cuentas monetarias de los Activos Ecosistémicos. Un número cada vez mayor de jurisdicciones en China han probado el PEB como herramienta de contabilidad y toma de decisiones. Dado que la composición de los bienes y servicios de los ecosistemas varía significativamente de un lugar a otro, el cálculo de las PEB puede comenzar con un conjunto de los servicios ecosistémicos más relevantes e ir creciendo con el tiempo. Las Cuentas Monetarias de los Ecosistemas aquí desarrolladas pueden constituir la base de las PEB, a las que se irán añadiendo con el tiempo los valores de otros bienes y servicios importantes relacionados con los ecosistemas.





5

Conclusiones y posibles  
siguientes pasos

El SCAE-CE puede ser implementado de una manera flexible, modular y progresiva. Este caso piloto permite concluir que en Colombia existe la posibilidad de avanzar en la implementación de las cuentas 3 y 4 de algunos servicios ecosistémicos prioritarios (físicas y monetarias), a través de la síntesis de información disponible en diferentes instituciones, y la aplicación de herramientas estandarizadas de análisis y modelación de procesos biofísicos. La cuenta 1, por su parte, se podría ejecutar en la medida en la que se dé continuidad a la elaboración periódica y estandarizada de los Mapas Nacionales de Ecosistemas.

No obstante, es importante reconocer que el carácter espacialmente explícito de las cuentas de ecosistemas impone el reto de balancear las particularidades locales en un contexto de implementación a escala regional o nacional. Por ejemplo, en la valoración económica son muy importantes el consumo, los precios y la población junto con otros datos locales. La valoración constituye el primer paso para un escalamiento subnacional o nacional; es necesario tener en cuenta que el país se comporta diferente regionalmente y la valoración debe reflejarlo. Esto puede sugerir la necesidad del diseño de un enfoque de implementación con prioridades a nivel subnacional y sectorial, y que considere diferentes servicios ecosistémicos.

El presente piloto ha conducido a avances en la definición de metodologías específicas para abordar algunos aspectos de la contabilidad ecosistémica en Colombia. Si bien el SCAE-CE provee estándares, lineamientos y guías detalladas, con frecuencia es necesario tomar decisiones o asumir enfoques que sean compatibles con las particularidades y prioridades de cada país. Este estudio, por ejemplo, propuso enfoques específicos para la definición y validación de las condiciones de línea base para algunos servicios ecosistémicos hídricos, la asimilación de la información topológica de los flujos, el nivel de granularidad temática o espacial, y las técnicas de valoración económica, entre otros.

De la misma forma, dado que el SCAE-CE requiere de la utilización de herramientas de modelación para estimar las magnitudes de los servicios ecosistémicos, se requiere avanzar en estándares y protocolos sobre la aplicación de dichas herramientas, que permitan mantener la continuidad de la contabilidad, y a su vez garantizar los niveles razonables de calidad de los procesos de modelación.

Se considera que los avances metodológicos de este piloto facilitan su replicabilidad en otras regiones y cuencas del país. Los recursos humanos, computacionales y demás infraestructura requerida serán función de características como la extensión del área en la cual se desee llevar a cabo la contabilidad, y la cantidad de Servicios Ecosistémicos que se desee contabilizar. Así, según de dichas magnitudes, serían necesarios uno o varios especialistas en las áreas de modelación de procesos biofísicos, de hidrología y de valoración económica.

En cuanto al periodo contable, el SCAE-CE sugiere plantearse la meta en al menos un año. Entre los argumentos en este sentido se incluye que los marcos de contabilidad de información económica y social utilizan dicho periodo de tiempo; sin embargo, el marco reconoce, además de las características de los procesos ecosistémicos evaluados y la velocidad y variabilidad del cambio, dificultades y retos para alcanzar esa periodicidad. Por ello, inicialmente las cuentas pueden calcularse para periodos de 3 o 5 años, en concordancia con la frecuencia de fuentes relevantes utilizadas en este estudio como el Mapa Nacional de Ecosistemas, el Estudio Nacional del Agua y el Registro único de usuarios del Agua, entre otros. Incluso con periodicidades largas, el SCAE-CE permitirá visualizar los servicios y los ecosistemas en el largo plazo; aportando desde los primeros periodos contables a la visualización del valor de los ecosistemas.

Este piloto también muestra algunas opciones que aportan en los lineamientos de diversas directrices del Gobierno Nacional, quien estableció en su

Programa de Gobierno, Colombia, *Potencia Mundial de la Vida*, incluye una propuesta del ordenamiento territorial en torno al agua y la justicia social. La información aquí presentada provee insumos claves para iluminar las interconexiones entre la integridad de los ecosistemas y el bienestar social y la productividad económica. Permite visualizar el rol del funcionamiento de los ecosistemas en beneficios como el control de la erosión y la degradación de los suelos, ilustrando una base fundamental del mantenimiento del agua. A su vez, conecta dicha condición con la viabilidad productiva y la eficiencia del sector energía y servicios (acueductos), y en la capacidad de proveer agua de manera confiable a los habitantes de las cuencas. Iluminar estas conexiones es un insumo clave para el diseño y la implementación de instrumentos de política y financieros que contribuyan al mantenimiento de la naturaleza.

La valoración económica de servicios ecosistémicos permite contabilizar de forma consistente y comparable el impacto real de los ecosistemas en el circuito económico. Una crítica común a la elaboración de estudios económicos y ambientales integrados es la incapacidad inherente de los métodos de valoración económica de representar el valor de las contribuciones amplias al bienestar que ofrece la naturaleza a las personas. Por ejemplo, en el caso del agua que ha sido el objeto del piloto aquí presentado, es posible cuestionar sobre la diversidad de beneficios posibles que se derivan del funcionamiento de los ecosistemas. Se hace la salvedad de que las valoraciones aquí presentadas aún están incompletas (por ejemplo, algunos sectores clave no pudieron ser consultados para elaborar las valoraciones corres-

pondientes) y, por lo tanto, es importante trabajar en una valoración integral que contabilice con mayor precisión una amplia cantidad de servicios ecosistémicos y que permita cuantificar otros aspectos que tienen raíces en ámbitos sociales.

Otra salvedad importante de esta y toda valoración de servicios ecosistémicos, es que el resultado no es equivalente a un valor de mercado por el cual se pueda transar el bien. En contraposición, el resultado corresponde a un valor de referencia que muestra el equivalente de la susceptibilidad económica derivada de un escenario de desaparición del servicio ecosistémico, en el caso particular referido a la retención de sedimentos en la cuenca del Sinú para los sectores de acueductos y de generación de eléctrica.

Esta herramienta tiene un potencial importante en la construcción de instrumentos económicos o financieros. La idea es ver que la conservación de ecosistemas estratégicos también puede ser fuente de recursos para los hacedores de política, teniendo en cuenta que en el mercado hay agentes dispuestos a pagar por la continuidad de la prestación de los servicios en el largo plazo. Especialmente en cadenas productivas que tienen una dependencia significativa de los servicios ecosistémicos. Este aspecto es relevante en la coyuntura actual, que exige contar con instrumentos financieros innovadores que faciliten el flujo de recursos para las medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático consideradas por el país, al igual que los recursos necesarios para fomentar la conservación, restauración y el uso sostenible de la biodiversidad.



# Bibliografía

- Corporación Autónoma Regional de Sucre. (CarSucre), (2017). *Estudio técnico del acuífero Morroa*.
- European Union (EU). (2016). *FutureWater Soil Hydraulic Properties version 1.2*. <https://www.futurewater.eu/2015/07/soil-hydraulic-properties>.
- Allan, R. &. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage*, 56. <https://www.fao.org/3/X0490e/x0490e00.htm#Contents>.
- Andréassian, V. (2004). Waters and forests: From historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, 291 (Issues 1-2), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>.
- Benavidez, R. J. (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (11), 6059-6086. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>.
- Borrelli, P. R. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8 (11) ,1-13 <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>.
- Bremer, L. M. (2018). Bringing multiple values to the table: assessing future land-use and climate change in North Kona. *Hawai'i. Ecology and Society*, 23 (1).
- Brown, A. E. (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, 310, 28-61. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.12.010>.
- Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, 185-228.
- Brune, G. (1953). Trap Efficiency of Reservoirs. *Transactions, American Geophysical Union*, 34, 407-418.
- Cronshey, R. (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55 (TR-55)*. US Department of Agriculture (USDA).

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2022). *Cuenta Ambiental y Económica de Flujos de Agua (CAE-FA)*. [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas\\_ambientales/cuenta-del-agua/Boletin-tecnico-cuenta-ambiental-y-economica-del-agua-2020p.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuenta-del-agua/Boletin-tecnico-cuenta-ambiental-y-economica-del-agua-2020p.pdf).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018*. <https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/visor-descarga-geovisores/>.
- European Commission, I. M. (2009). *System of National Accounts 2008*. <https://unstats.un.org/unsd/nationalaccount/sna2008.asp>.
- Fick, S., & Hijmans, R. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, Vol, 37. PP 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>. <https://www.worldclim.com/version2>.
- Forero, J. (2013). *Agricultura familiar y campesinado en el mundo rural contemporáneo*. Universidad de Caldas.
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., & Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, Vol. 69(6), PP 1209–1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>.
- Hein, L., van Koppen, K., de Groot, R. S., & van Ierland, E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, Vol. 57(2), PP 209–228. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.005>.
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., . . . Kempen, B. (2017). Global gridded soil information based on machine learning. *PLOS ONE*, Vol12 (2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Cobertura de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia durante el periodo 2010-2012*. República de Colombia. Ideam.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019a). *Cobertura de la Tierra Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia de 2018*. República de Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2019b). *Estudio Nacional del Agua 2018 (ENA 2018)*. [https://www.andi.com.co/Uploads/ENA\\_2018-comprimido.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf).

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Red de monitoreo hidrometeorológico de Colombia, Subdirección de hidrología - IDEAM, Colombia, 1959-1992*. . Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>, 02-28-2022.
- Kottek, M. G. (2006). World Map of Köppen-Geiger Climate Classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- Kowal, V. A.-K. (2021). Modeling integrated impacts of climate change and grazing on Mongolia's rangelands. *Land*, 10 (4), 397.
- Mandle, L. V.-K. (2016). Natural Capital Project, Stanford University. : <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj9321f/publications/incorporating-climate-change-scenarios-into-invest-and-rios-2016-01-11.pdf>
- Mandle, L. W. (2017). Assessing ecosystem service provision under climate change to support conservation and development planning in Myanmar. *PloS one*, Vol. 12(9) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184951>.
- Manley, K., & Egoh, B. N. (2022). Mapping and modeling the impact of climate change on recreational ecosystem services using machine learning and big data. *Environmental Research Letters*, Vol. 17(5). DOI 10.1088/1748-9326/ac65a3.
- Morris, G. L. (2020). Classification of Management Alternatives to Combat Reservoir Sedimentation. *Water*, 12 (3). <https://doi.org/10.3390/w12030861>.
- Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, and Stockholm Resilience Centre. (2022). *INVEST 3.11.0 User's Guide*.
- Ouyang, Z. S. (2020). Using gross ecosystem product (GEP) to value nature in decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117 (25), 14593-14601. DOI: 10.1073/pnas.1911439117.
- Peña-Arancibia, J. L. (2019). Forests as 'sponges' and 'pumps': Assessing the impact of deforestation on dry-season flows across the tropics. *Journal of Hydrology*, 574, 946–963. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.030>.
- PNN. (2016). *Valoración del servicio ecosistémico de provisión de agua hacia diferentes sectores con relación a la Cuenca del Río Sinú-Parque Nacional Natural Paramillo*.
- Romero, N. (2021). *Estimación del precio sombra del agua a través de un modelo de programación lineal para Colombia* (tesis de Maestría). Universidad Externado de Colombia. <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/4475>.

- Sánchez Torres, D. (2022). *Latidos veredales: paisajes rururbanos en Pereira, Manizales y Armenia (Colombia) de 1970 a 2017*. Universidad de Caldas.
- Tabares Ocampo, L. M. (2003). *Mapa hidrogeológico de Córdoba, escala 1:250.0000. Consideraciones técnicas para el manejo del agua subterránea en el departamento de Córdoba*.
- Trabucco, A., & Zomer, R. (2019). *Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ET0) Climate Database v2*. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7504448.v3>.
- United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). (2002). *FAO Rice Information, Volume 3*. <https://www.fao.org/3/Y4347E/y4347e00.htm>.
- United Nations et al. (2021). *System of Environmental-Economic Accounting-Ecosystem Accounting White cover (pre-edited version)*. <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>.
- United Nations. (2022). *Guidelines on Biophysical Modelling for Ecosystem Accounting*.
- Urrá. (2022). *Urrá Generación Sostenible —Gestión Técnica—*. <https://urra.com.co/gestion-tecnica/>.
- US Geological Survey (USGS), Department of the Interior. (2000, November 20). *Digital Elevation Model captured by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), flown aboard the space shuttle Endeavour February*. <https://search.earthdata.nasa.gov/search>.
- Vargas Quintero, M. C. (2022). *Memoria técnica del mapa de aguas subterráneas del departamento de Sucre en escala 1:250.000 —Exploración y evaluación de aguas subterráneas—*.
- Wang, B. Z. (2013). Comparison of soil erodibility factors in USLE, RUSLE2, EPIC and Dg models based on Chinese soil erodibility database. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 63 (1), 69-79.
- Waves. (2016). *Wealth Accounting of Ecosystem Services: Colombia Country Report 2016*.
- Wedding, L. M. (2022). Embedding the value of coastal ecosystem services into climate change adaptation planning. *PeerJ*, 10. doi: 10.7717/peerj.13463.
- Yang, D. K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological processes*, 17 (14), 2913-2928. <https://doi.org/10.1002/hyp.1441>.



# Anexos



## Anexo 1. Resumen de la modelación de servicios ecosistémicos desarrollada

### Datos y calibración de los modelos de InVEST

Las series de caudales observados y sedimentos del río Sinú se obtuvieron de la Red Nacional de Monitoreo Hidrometeorológico del Ideam para cuatro estaciones hidrológicas (mapa A-1): El Limón, Angostura de Urrá, Montería y Cotoca Abajo. Luego, los dos modelos de InVEST se corrieron más de 1.000 veces y los resultados se compararon contra los datos observados. Esto permitió ajustar los parámetros y, en última instancia, seleccionar las versiones de cada modelo que produjeran resultados más parecidos a los datos observados. Los resultados biofísicos de estos modelos calibrados se utilizaron entonces en la creación de las cuentas de SE hídricos.

Los datos observados utilizados en la calibración correspondieron al período anterior al inicio de la

construcción del embalse de Urrá pues los modelos InVEST no consideraban esta infraestructura construida. Las observaciones de cantidad de agua cubrieron el período de 1959 a 1992. Los datos observados de sedimentos correspondieron al período comprendido entre 1972 y 1992. Para calibrar los resultados de InVEST, los datos de cantidad de agua se compararon con una frecuencia mensual, mientras que los flujos de sedimentos sólo se consideraron anualmente. Para la cantidad de agua, las observaciones de caudal diario se promediaron para cada mes. Para convertir las observaciones de concentración de sedimentos a masa (para compararlas con los resultados de InVEST), las concentraciones diarias se multiplicaron por sus respectivos caudales diarios líquidos para cada estación de aforo. Estas tasas se promediaron y luego se agregaron para calcular el promedio anual de toneladas de sedimento en cada estación de aforo.

Mapa A1. Localización de las cuatro estaciones hidrológicas utilizadas para la calibración de los modelos de InVEST



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de IGAC e IDEAM (2023).

## Modelo Seasonal Water Yield (SWY) de InVEST

El modelo SWY de InVEST utiliza series mensuales de clima para predecir el caudal base (B) y el caudal rápido (QF). En este modelo, B representa la cantidad de precipitación que entra en los cursos de agua a través del flujo subsuperficial, manteniendo el caudal entre los eventos de lluvia y contribuyendo así a la disponibilidad de agua durante la época seca; B

puede tener tiempos de residencia de meses o años. El modelo genera la distribución espacial de B, lo que permite conocer de qué parte del paisaje proviene el agua que mantiene el suministro durante la época seca. QF representa la cantidad de precipitación que se convierte en escorrentía directa, entrando en los arroyos durante o poco después de los eventos de lluvia. Se utilizó la versión 3.11.0 de InVEST (Natural Capital Project 2022). Para más información, véase la Guía del usuario de InVEST.

## Datos de entrada

Para la construcción de este modelo se utilizaron como entradas los siguientes datos y valores:

- **Precipitación mensual.**
- **Evapotranspiración mensual de referencia.**
- **Modelo de Elevación Digital del Terreno (DEM):** utilizado para identificar la dirección del flujo del agua y para definir las corrientes.
- **Cobertura y uso de la tierra (LULC):** utilizado para establecer los coeficientes de evapotranspiración de cultivo ( $K_c$ ) y los valores de los números de curva (CN).
- **Grupo de suelo:** Grupo de suelo hidrológico (A, B, C o D) del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS), usado junto con el mapa de cobertura y uso de la tierra (LULC) para determinar los valores de CN.
- **Zonas climáticas:** polígonos que definen zonas donde el clima puede considerarse similar. Se usa junto con una tabla de zonas climáticas que contiene la cantidad de eventos de lluvia por mes para cada zona.
- **Tabla biofísica:** contiene valores de  $K_c$  y CN que se asignan a las clases LULC.

Tabla A1. Fuentes de los datos de entrada para el modelo Seasonal Water Yield de InVEST

Entradas para el modelo Seasonal Water Yield	Fuente
Información de clima	Precipitación: WorldClim 2.0, Fick, et al. 2017, coberturas: 1970-2000 Evapotranspiración: CGIAR Consortium for Spatial Information Trabucco, et al. 2019, coberturas: 1970-2000
Cobertura y uso del suelo	IDEAM, CORINE Land Cover, coberturas: 2012 y 2018
Suelo	FutureWater Soil Hydraulic Properties version 1.2, EU 2016.
Zonas climáticas	Köppen-Geiger clasificación climática, Kottek, et al. 2006.
Tabla biofísica ( $K_c$ & CN)	Valores iniciales de $K_c$ (antes de la calibración) de UN FAO Irrigation and Drainage paper 56, Allen, et al. 1998, ajustado al clima local. Datos de temporadas de siembra y cosecha de arroz UN FAO Rice Information, Volume 3, FAO 2002. Valores iniciales de CN (antes de calibración) a partir de USDA TR-55 Urban Hydrology for Small Watersheds, Cronshey, et al. 1986.
Área de interés (AOI) / Cuencas	Delimitación a partir del DEM SRTM usando la herramienta de Wang & Liu en QGIS

Fuente: Elaboración propia

En este modelo, los valores de  $K_c$  y  $CN$  se asignaron a partir de cada clase de uso suelo/cobertura del suelo. Los valores de  $K_c$  del capítulo 6 del documento 56 de la FAO Irrigation and Drainage (Allen, 1998) se ajustaron al clima y se calcularon para cada clase. Los valores de  $CN$  varían según el grupo hidrológico del suelo SCS (FutureWater, 2016). >99,99 % del AOI se compone de los grupos C y D. Estos grupos de suelo consisten predominantemente en partículas de textura fina como arcillas, que tienen tasas de infiltración lenta y contribuyen ampliamente a la generación de escorrentía (FutureWater, 2016).

## Modelo Sediment Delivery Ratio (SDR) de InVEST

El modelo SDR de InVEST calcula y muestra la representación espacial del depósito de sedimentos debido a la erosión de tipo superficial, su transporte a arroyos y ríos y la influencia de los ecosistemas sobre esas cargas de sedimentos. La erosión y la retención de sedimentos por la vegetación son procesos naturales que rigen la concentración de sedimentos en arroyos y ríos. La dinámica de los sedimentos a escala de cuenca viene determinada principalmente por el clima (en particular, la intensidad de las lluvias), las propiedades del suelo, la topografía y la vegetación, también por factores antropogénicos entre ellos las actividades agrícolas o la construcción y operación de embalses. Se utilizó la versión en desarrollo de InVEST 3.11.0 para modelar espacialmente los flujos y la retención de sedimentos. Para más detalles, véase la Guía del usuario de InVEST.

Los siguientes datos se utilizaron como insumos para el análisis del SE de retención de sedimentos:

- **Cobertura de la tierra:** se utiliza para obtener los tipos de cobertura e inferir los parámetros de las prácticas de manejo y soporte.
- **Modelo de Elevación Digital del Terreno (DEM):** utilizado para identificar la dirección del flujo del agua y para definir las corrientes.
- **Erodabilidad del suelo:** medida de la susceptibilidad de las partículas del suelo al desprendimiento y transporte por la lluvia y la escorrentía.
- **Erosividad de la precipitación:** medida del potencial de erosión derivada de la intensidad y duración de las precipitaciones.
- **Cuencas hidrográficas:** define los límites de las cuencas hidrográficas
- **Tabla biofísica:** contiene los valores de prácticas de manejo del cultivo que corresponden a cada tipo de cobertura. El factor de práctica de manejo tiene en cuenta el cultivo y el manejo relativo a la labranza continua. El factor de prácticas de soporte tiene en cuenta los efectos de la labranza en contorno, el cultivo en franjas o el cultivo en terrazas en relación con el cultivo en hileras rectas a lo largo de la pendiente.
- **Parámetros:** valores de calibración y umbrales que influyen en la conectividad hidrológica, la textura del suelo y la proporción de sedimentos erosionados entregados a arroyos o ríos.

Tabla A2. Fuentes de datos de entrada para el modelo InVEST Sediment Delivery Ratio

Entradas para el modelo Sediment Delivery Ratio	Fuente
Erosividad de la precipitación	Benavidez et al. 2018. <a href="https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018">https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018</a> . Calculado con GRASS GIS r.usleR a partir de WorldClim v 2.1, 1970-2000. <a href="https://worldclim.org/data/worldclim21.html">https://worldclim.org/data/worldclim21.html</a>
Elevación	SRTM DEM, USGS 2000
Cobertura y uso del suelo	IDEAM, CORINE Land Cover, coberturas: 2012 y 2018
Erodabilidad del suelo	Wang et al. 2012. <a href="https://doi.org/10.1080/09064710.2012.718358">https://doi.org/10.1080/09064710.2012.718358</a> . Calculado a partir de Soilgrids, Hengl et al. 2017. <a href="https://data.isric.org/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home">https://data.isric.org/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home</a>
Parámetros USLE	Valores iniciales (antes de calibración) para la USLE revisada a partir de parámetros utilizados en la en los estudios de erosión de suelo de Borrelli et al. 2017 y Yang et al. 2003.
Área de interés (AOI) / Cuencas	Delimitación a partir del DEM SRTM usando la herramienta de Wang & Liu en QGIS

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 2. Listado de fuentes de información evaluadas para identificar los insumos de la implementación de la contabilidad ecosistémica

Tabla A3. Coberturas Bosque -No bosque

Nombre	Coberturas bosque - No bosque
Entidad	IDEAM
Tipo de datos	Raster
Formato	.tif
Periodo	1990, 2000, 2005, 2010, 2012-2019
Extensión	Colombia
Resolución espacial	~ 30 m
Resolución temporal	Anual (desde 2012)

Nombre	Coberturas bosque - No bosque
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	Aunque la información principal para determinar la extensión de los ecosistemas posiblemente corresponderá al mapa de ecosistemas, las coberturas de bosques podrían servir para establecer los cambios en la condición de este tipo de ecosistema.
Limitaciones identificadas	Únicamente contiene información de bosques
Institucionalización del producto	La institucionalización del producto es alta. Estas coberturas son generadas por el Sistema de Monitoreo de Bosque y Carbono (SMBYC). Este es liderado por con el apoyo continuo del MADS y el apoyo financiero de diversos socios nacionales e internacionales.
Accesibilidad	Público. La información de las coberturas se encuentra disponible en el Geoportel del IDEAM.
Nivel de estandarización del producto	La estandarización es alta. El proceso para la construcción de estas coberturas está claramente descrito en el documento "Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional —escalas gruesa y fina—".
Disponible en	<a href="http://www.ideam.gov.co/capas-geo">http://www.ideam.gov.co/capas-geo</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A4. Mapa de suelos del departamento de Antioquia

Nombre	Mapa de suelos del departamento de Antioquia
Entidad	IGAC
Tipo de datos	Cobertura espacial de polígonos
Formato	.shp
Periodo	2007 (año publicación)
Extensión	Departamento de Antioquia
Resolución espacial	1:100.000
Resolución temporal	NA
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	Esta información puede ser útil para determinar la extensión, condición y servicios del ecosistema.  Aunque variables como la extensión de los ecosistemas se reportarán en 2D (véase SCAE-CE), muchos ecosistemas serán entendidos en 3D. Por ejemplo, los bosques en términos hidrológicos son "inseparables" de los suelos. Y eventualmente podrán ser integrados incluyendo los acuíferos (p.ej., acuíferos libres y zonas de recarga).  Esta información también puede ser útil en la asignación de los parámetros hidrológicos del modelo InVEST.
Limitaciones identificadas	Estos estudios únicamente corresponden a un momento dado. No se cuenta con un monitoreo temporal de los suelos

Nombre	Mapa de suelos del departamento de Antioquia
Institucionalización del producto	Este producto fue elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Sin embargo, no es un producto de publicación periódica en el que inter vengan varias entidades.
Accesibilidad	La información geográfica es pública. Se encuentra disponible en el Geoportal del IGAC. Sin embargo, allí sólo están disponibles los <i>shapefiles</i> , pues los documentos, en los cuales se describen las características de los suelos no están disponibles.
Nivel de estandarización del producto	NA
Disponible en	<a href="https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia">https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A5. Mapa de suelos del departamento de Bolívar

Nombre	Mapa de suelos del departamento de Bolívar
Entidad	IGAC
Tipo de datos	Cobertura espacial de polígonos
Formato	.shp
Periodo	
Extensión	Departamento de Bolívar
Resolución espacial	1:100.000
Resolución temporal	NA
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	Esta información puede ser útil para determinar la extensión, condición y servicios del ecosistema.  Aunque variables como la extensión de los ecosistemas se reportarán en 2D (véase SCAE-CE), muchos ecosistemas serán entendidos en 3D. Por ejemplo, los bosques en términos hidrológicos son "inseparables" de los suelos. Y eventualmente podrán ser integrados incluyendo los acuíferos (p.ej., acuíferos libres y zonas de recarga).  Esta información también puede ser útil en la asignación de los parámetros hidrológicos del modelo INVEST.
Limitaciones identificadas	Estos estudios únicamente corresponden a un momento dado. No se cuenta con un monitoreo temporal de los suelos
Institucionalización del producto	Este producto fue elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Sin embargo, no es un producto de publicación periódica en el que inter vengan varias entidades.
Accesibilidad	La información geográfica es pública. Se encuentra disponible en el Geoportal del IGAC, sin embargo, allí sólo están disponibles los <i>shapefiles</i> , pues los documentos en los cuales se describen las características de los suelos no están disponibles.

Nombre	Mapa de suelos del departamento de Bolívar
Nivel de estandarización del producto	NA
Disponible en	<a href="https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia">https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A6. Mapa de suelos del departamento de Córdoba

Nombre	Mapa de suelos del departamento de Córdoba
Entidad	IGAC
Tipo de datos	Cobertura espacial de polígonos
Formato	.shp
Periodo	2009 (año publicación)
Extensión	Departamento de Córdoba
Resolución espacial	1:100.000
Resolución temporal	NA
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	<p>Esta información puede ser útil para determinar la extensión, condición y servicios del ecosistema.</p> <p>Aunque variables como la extensión de los ecosistemas se reportarán en 2D (véase SCAE-CE), muchos ecosistemas serán entendidos en 3D. Por ejemplo, los bosques en términos hidrológicos son "inseparables" de los suelos. Y eventualmente podrán ser integrados incluyendo los acuíferos (p.ej., acuíferos libres y zonas de recarga).</p> <p>Esta información también puede ser útil en la asignación de los parámetros hidrológicos del modelo InVEST.</p>
Limitaciones identificadas	Estos estudios únicamente corresponden a un momento dado. No se cuenta con un monitoreo temporal de los suelos
Institucionalización del producto	Este producto fue elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Sin embargo, no es un producto de publicación periódica en el que intervengan varias entidades
Accesibilidad	La información geográfica es pública. Se encuentra disponible en el Geoportal del IGAC, sin embargo, allí sólo están disponibles los <i>shapefiles</i> , pues los documentos en los cuales se describen las características de los suelos no están disponibles.
Nivel de estandarización del producto	NA
Disponible en	<a href="https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia">https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia</a>

Tabla A7. Mapa de suelos del departamento de Sucre

Nombre	Mapa de suelos del departamento de Sucre
Entidad	IGAC
Tipo de datos	Cobertura espacial de polígonos
Formato	.shp
Periodo	1998 (año publicación)
Extensión	Departamento de Sucre
Resolución espacial	1:100.000
Resolución temporal	NA
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	<p>Esta información puede ser útil para determinar la extensión, condición y servicios del ecosistema.</p> <p>Aunque variables como la extensión de los ecosistemas se reportarán en 2D (véase SCAE-CE), muchos ecosistemas serán entendidos en 3D. Por ejemplo, los bosques en términos hidrológicos son “inseparables” de los suelos. Y eventualmente podrán ser integrados incluyendo los acuíferos (p.ej., acuíferos libres y zonas de recarga).</p> <p>Esta información también puede ser útil en la asignación de los parámetros hidrológicos del modelo InVEST.</p>
Limitaciones identificadas	Estos estudios únicamente corresponden a un momento dado. No se cuenta con un monitoreo temporal de los suelos
Institucionalización del producto	Este producto fue elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Sin embargo, no es un producto de publicación periódica en el que intervengan varias entidades.
Accesibilidad	La información geográfica es pública. Se encuentra disponible en el Geoportal del IGAC. Sin embargo, allí solo están disponibles los <i>shapefiles</i> , pues los documentos en los cuales se describen las características de los suelos no están disponibles.
Nivel de estandarización del producto	NA
Disponible en	<a href="https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia">https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A8. Sistemas acuíferos de Colombia

Nombre	Sistemas acuíferos
Entidad	IDEAM
Tipo de datos	Cobertura espacial de polígonos
Formato	.shp
Periodo	2014 (año publicación)

Nombre	Sistemas acuíferos
Extensión	Colombia
Resolución espacial	1:250,000
Resolución temporal	NA
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	<p>En la zona el uso de agua subterránea es importante. Los acuíferos de la zona también son importantes a escala nacional. La influencia de los ecosistemas como la cobertura vegetal y eventualmente algunos cuerpos de agua, puede ser determinante para garantizar que se continúe prestando el servicio hídrico.</p> <p>Por esta razón en términos hidrológicos lo que se aprecia como un mismo ecosistema desde la superficie puede ameritar una subdivisión que tenga en cuenta los hidrosistemas subyacentes, por ejemplo, acuíferos.</p> <p>Así, esta capa puede ser útil para determinar la extensión de los ecosistemas. Así mismo, algunas características de los acuíferos podrían aportar información para la cuantificación de los activos.</p>
Limitaciones identificadas	Esta información se encuentra a nivel de sistemas de acuíferos y no de acuíferos.
Institucionalización del producto	Este producto formó parte del Estudio Nacional del Agua de 2014. Dichos estudios son producidos periódicamente por el Ideam. En cada uno de estos estudios el Ideam ha tendido a mejorar la información hidrogeológica respecto a los anteriores, de manera que es factible que dichas coberturas espaciales continúen siendo actualizadas en la elaboración de los Estudios Nacionales del Agua.
Accesibilidad	<p>Pública.</p> <p>La información geográfica se encuentra disponible en el geoportal del IDEAM</p>
Nivel de estandarización del producto	NA
Disponible en	<a href="http://www.ideam.gov.co/capas-geo">http://www.ideam.gov.co/capas-geo</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A9. Información catastral

Nombre	Información catastral
Entidad	IGAC
Tipo de datos	Base de datos geográfica
Formato	.gdb
Periodo	NA
Extensión	Colombia
Resolución espacial	NA
Resolución temporal	NA

Nombre	Información catastral
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	La información catastral puede servir para establecer los flujos de servicios.
Limitaciones identificadas	<p>La información no está completa.</p> <p>No está la información de algunos municipios relevantes como Sincelejo.</p> <p>Múltiples predios de las zonas del litoral Caribe no están en las coberturas espaciales.</p> <p>No está la información de avalúos.</p>
Institucionalización del producto	Este producto está a cargo del IGAC
Accesibilidad	La información geográfica, incluidos los registros 1 y 2 son públicos. Esta se encuentra disponible en el geoportal del IGAC. Sin embargo, algunos campos de los registros, entre ellos el avalúo de los predios, no están disponibles.
Nivel de estandarización del producto	<p>La base de datos geográfica para el almacenamiento de la información cuenta con un modelo de datos, también se cuenta con un manual para el procesos de reconocimiento predial y distintos formatos para la recolección y manejo de la información.</p> <p>Sin embargo, presenta varios problemas:</p> <p>Por una parte, este producto no cubre la totalidad del país, debido a la existencia de catastros descentralizados en Bogotá, Antioquia, Medellín, Cali y la delegación de Barranquilla.</p> <p>Además, los procesos de actualización catastral en varias regiones del país no ocurren con una misma periodicidad. Y, aunque con la conservación catastral se busca mantener la vigencia de la información, el proceso no funciona de la forma deseada, por aspectos como la informalidad en el manejo de la tenencia de la tierra, la asociación con el impuesto predial, entre otros.</p>
Disponible en	<a href="https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-catastro">https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-catastro</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A10. Mapa nacional de ecosistemas continentales y costeros de Colombia

Nombre	Mapa de ecosistemas
Entidad	IDEAM
Tipo de datos	Cobertura espacial de polígonos
Formato	.shp
Periodo	2017 V2.1
Extensión	Colombia
Resolución espacial	1:100.000

Nombre	Mapa de ecosistemas
Resolución temporal	NA
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	<p>El mapa de ecosistemas constituye la principal fuente para la determinación de la cuenta de extensión de ecosistemas. A partir de este pueden delimitarse, agruparse y cuantificarse la extensión de los ecosistemas.</p> <p>Así mismo, este mapa puede servir de línea base para la determinación de cambios en la condición de los ecosistemas.</p>
Limitaciones identificadas	A la fecha únicamente se cuenta con la versión 2.1 del mapa. Es decir, por ahora no se cuenta con información multitemporal que permita hacer análisis de dichas características.
Institucionalización del producto	<p>El producto está a cargo de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los institutos del Sistema Nacional Ambiental (SINA), Parques Nacionales Naturales de Colombia y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.</p> <p>A la fecha con la metodología mencionada se han generado cuatro versiones 1.0, 1.1, 2.0 y 2.1. Sin embargo, la periodicidad del producto no es tan clara.</p>
Accesibilidad	Es público, se encuentra disponible en el Geoportal del Sistema de Información Ambiental Colombiano (SIAC)
Nivel de estandarización del producto	<p>El nivel de estandarización es alto. La metodología para la construcción del producto se encuentra descrita en el documento “Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia Escala 1:000.000 Memoria Técnica 2017”.</p>
Disponible en	<a href="http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas">http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A11. Censo nacional de población y vivienda 2018

Nombre	Información catastral
Entidad	DANE
Tipo de datos	Cobertura espacial de polígonos
Formato	.shp
Periodo	2018
Extensión	Colombia
Resolución espacial	NA
Resolución temporal	NA
Uso potencial en el contexto de las cuentas ecosistémicas	Esta información es útil para identificar donde se encuentran los beneficiarios de los servicios ecosistémicos. Adicionalmente, puede ser útil en la cuantificación del servicio. Representa una alternativa a la información catastral.

Nombre	Información catastral
Limitaciones identificadas	Aunque en el país se han adelantado varios censos poblacionales y de vivienda, este es el primero que entrega este tipo de productos, de manera que únicamente se cuenta con información del año 2018 en este formato.
Institucionalización del producto	Este producto está a cargo directamente del DANE.
Accesibilidad	Es público, se encuentra disponible para descarga en la página del DANE
Nivel de estandarización del producto	Si el producto se compara con los demás censos existentes de población y vivienda en Colombia, es claro que este último incluyó otras metodologías de captura de datos al igual que generó nuevos subproductos, lo cual puede limitar su comparabilidad. Tampoco es claro si los siguientes censos seguirán estrictamente esta última metodología y originarán los mismos productos.
Disponible en	<a href="https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/visor-descarga-geovisores/">https://geoportal.dane.gov.co/servicios/descarga-y-metadatos/visor-descarga-geovisores/</a>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A12: Otras fuentes de Información consideradas

Fuente	Institución	Tipo de información	Alcance geográfico
SIRH (Sistema de información del recurso hídrico)	MinAmbiente  Ideam	Captaciones y vertimientos de agua, diferenciadas por: Código CIUU del consumidor, descripción CIUU, municipio, departamento, dirección del consumidor, m <sup>3</sup> concesionado, m <sup>3</sup> consumidos, monto pagado, tipo de fuente de la captación, Área (macrocuenca), zona (microcuenca).	Áreas delimitadas por la zona hidrográfica 13 (Sinú): SZH 1301 (Alto Sinú - Urrá), 1302 (Medio Sinú) y 1303 (Bajo Sinú)), y la SZH 1205 (Directos Caribe Golfo de Morrosquillo).
Estudio Nacional del Agua	Ideam	Base de datos de resultados de demanda hídrica diferenciada por sector.	Áreas y municipios delimitadas por: zona hidrográfica 13 (Sinú): SZH 1301 (Alto Sinú - Urrá), 1302 (Medio Sinú) y 1303 (Bajo Sinú)), y la SZH 1205 (Directos Caribe Golfo de Morrosquillo).

Fuente	Institución	Tipo de información	Alcance geográfico
Portal logístico de Colombia	Min Transporte	Base de datos de transporte de carga diferenciando: municipio de origen, municipio de destino, toneladas transportadas, tipo de mercancía movilizada, configuración vehicular.	Municipios origen/destino: Moñitos (23500), Los Palmitos (70418), Coveñas (70221), Sampués (70670), Ovejas (70508), Chalán (70230), Cotorra (23300), Tuchín (23815), Purísima de la Concepción (23586), Chinú (23182), Colosó (70204), Morroa (70473), El Carmen de Bolívar (13244), Momil (23464), Palmito (70523), Sincelejo (70001), San Antero (23672), San Andrés de Soatavento (23670), Sahagún (23660), Planeta Rica (23555), San Bernardo del Viento (23675), San José de Toluviéjo (70823), Cereté (23162), Santiago de Tolú (70820), Chimá (23168), San Pelayo (23686), San Carlos (23678), Ciénaga de Oro (23189), San Onofre (70713), Ituan-go (5361), Lórica (23417), Valencia (23855), Montería (23001), Tierralta (23807).
Estudios Regionales del Agua	CarSucre, CVS, CorAntioquia	Base de datos de demanda hídrica diferenciada por sector	Áreas subsiguientes correspondientes a las SZH 1301 (Alto Sinú - Urrá), 1302 (Medio Sinú) y 1303 (Bajo Sinú)), y la SZH 1205 (Directos Caribe Golfo de Morrosquillo).
Ingresos, Inversiones y gastos en protección y conservación de fuentes hídricas	CarSucre, CVS, CorAntioquia	Ingresos asociados a los instrumentos económicos y financieros, y otros recaudos con destinación específica para la protección del ambiente (transferencias del sector eléctrico, compensaciones, etc.).	Áreas subsiguientes correspondientes a las SZH 1301 (Alto Sinú - Urrá), 1302 (Medio Sinú) y 1303 (Bajo Sinú)), y la SZH 1205 (Directos Caribe Golfo de Morrosquillo).
Información geográfica de los Estudios Hidrogeológicos Departamentales	Servicio Geológico Colombiano	Archivos nativos ( <i>shap</i> -es, GDB u otros) de los mapas hidrogeológicos de los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar y Antioquia.	Departamentos de Córdoba (2003, Escala 1:250.000), Sucre (2002, Escala 1:250.000), Bolívar y Antioquia (de los departamentos de Bolívar y Antioquia no se identificaron estudios hidrogeológicos departamentales 1:250.000 en el portal del SGC, sin embargo, si existen, serían de utilidad).

Fuente	Institución	Tipo de información	Alcance geográfico
<p>Información geográfica de las planchas 503-504-505 y 506 del Atlas de aguas subterráneas de Colombia escala 1:500.000</p> <p>Específicamente de: (1) los mapas de unidades hidrogeológicas y (2) mapas de estado del recurso.</p>	Servicio Geológico Colombiano	Archivos nativos ( <i>shapes</i> , GDB u otros)	Planchas 503-504-505 y 506
<p>Versiones precedentes (1.0, 1.1 y 2.0) del mapa de <i>Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia</i>.</p>	Ideam	Archivos nativos ( <i>shapes</i> , GDB u otros)	Colombia

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 3. Fuentes y uso de la información utilizada en el proceso de conceptualización e identificación de posibles beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos

Tabla A13. Fuentes y uso de información

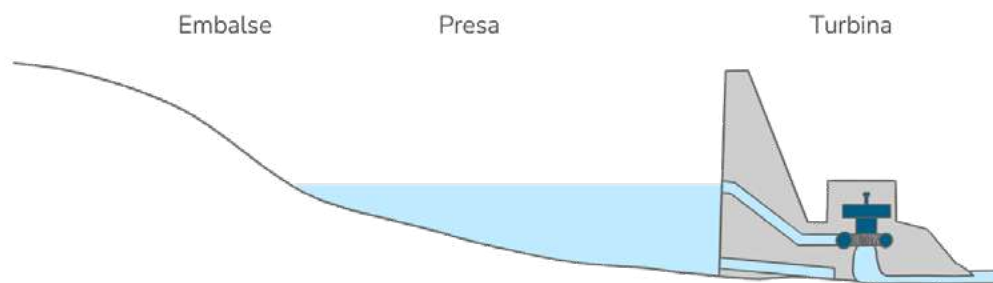
Fuente	Uso de la información
<p>Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia</p>	<p>Identificación de ecosistemas relevantes y predominantes en la ACE que puedan estar proporcionando los SE analizados.</p>
<p>Estudios Nacionales del Agua, en particular las secciones que contienen información hidrológica, climatológica, hidrogeológica y del uso de agua.</p>	<p>Conceptualización de la distribución espacio temporal de la oferta hídrica.</p> <p>Identificación de presencia de sistemas acuíferos en la zona.</p> <p>Identificación del uso y la presión sobre el recurso hídrico en a nivel de subzonas hidrográficas.</p> <p>Identificación de los tipos de fuentes de agua predominantemente utilizados (p. ej., superficial vs. subterránea).</p>

Fuente	Uso de la información
Mapas hidrogeológicos de los departamentos de Córdoba y Sucre	<p>Conceptualización de la posible influencia de los ecosistemas (incluido el suelo) sobre una eventual recarga del acuífero.</p> <p>Conceptualización de zonas donde el uso de agua subterránea pueda ser importante en relación con el abastecimiento.</p>
POMCA del río Sinú	Identificación de usuarios más relevantes del agua en la cuenca (p. ej., municipios, distritos de riego, hidroeléctricas)
Registro Usuarios del Recurso Hídrico	Identificación de los tipos de usuarios del agua, del tipo de fuente al que recurren, y de la magnitud de la demanda hídrica registrada.
Censo demográfico de 2018	Conceptualización de la distribución espacial de los centros poblados y habitantes de la cuenca.
Portal web “Desinventar”	Verificación de tipos de desastres asociados al agua como sequías.
Búsquedas directas en Google, utilizando ecuaciones de búsqueda como “Problemas de agua Sinú”	Eventual identificación de otros usuarios de los SE analizados que no se vieran reflejados en las fuentes anteriores.

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 4. Conceptualizaciones preliminares de la importancia de los Servicios Ecosistémicos de cantidad de agua para los beneficiarios

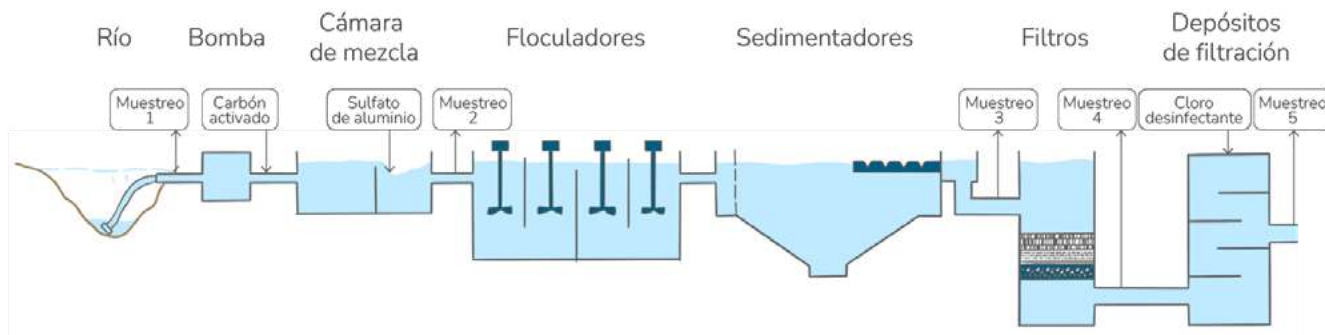
Diagrama conceptual preliminar A1. Importancia del SE de mantenimiento de caudales bajos y suministro de agua en cantidad para la hidroeléctrica de Urrá I



Costos	Generación Hidroeléctrica
Operando con el mismo sistema	Disminución en la generación de energía. Disminución de la energía firme y de utilidades por cargo por contabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama conceptual preliminar A2. Importancia del SE de flujos bajos para los beneficiarios que captan el agua a través de sistemas de acueductos



<b>Costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operando con el mismo sistema.</li> </ul>	Cambios estructurales al sistema.
<b>Captación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adecuación del sistema, p.ej mediante el uso de manguera, motobombas, etc.</li> <li>Toma desde otras fuentes de agua, como pozos subterráneos.</li> </ul>	Reingeniería de los procesos, ampliación de la infraestructura existente o diseño y construcción de nueva infraestructura.
<b>Bombeo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Horas fuera de servicio.</li> <li>Cantidad de energía.</li> <li>Costos de mantenimiento.</li> </ul>	
<b>Decantación</b>		
<b>Mezcla Rápida</b>		
<b>Floculación</b>		
<b>Decantación</b>		
<b>Filtrado</b>		
<b>Desinfección</b>		
<b>Sanciones y otros costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Racionamientos del servicio.</li> <li>Malestar en la comunidad.</li> <li>Gestión para el abastecimiento mediante otras fuentes (p. ej., distribución con carrotaques).</li> <li>Sanciones por incumplimiento en la calidad o en la prestación del servicio:</li> <li>Multas.</li> <li>Cancelación de contratos de operadores.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia.

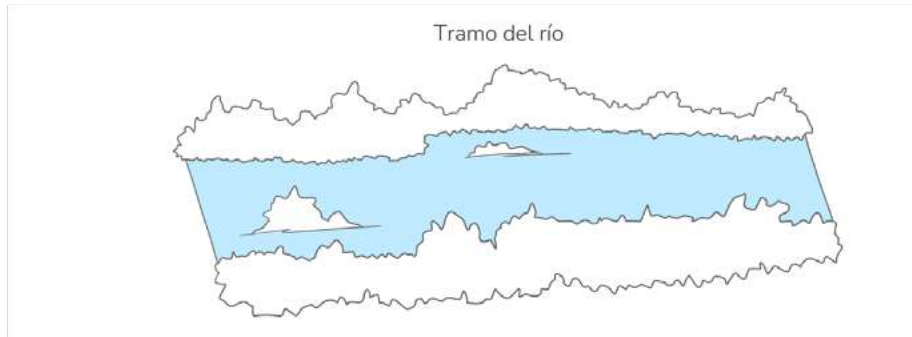
Diagrama conceptual preliminar A3. Importancia del SE de mantenimiento de caudales bajos para agricultores que captan el agua a principalmente del río Sinú



<b>Costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operando con el mismo sistema.</li> </ul>	Reingeniería de los procesos, ampliación de la infraestructura existente o diseño y construcción de nueva infraestructura (p. ej., construcción de nuevos pozos de agua subterránea).
<b>Captación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuación del sistema, p.ej mediante el uso de manguera, motobombas, etc.</li> <li>• Toma desde otras fuentes de agua, como pozos subterráneos.</li> </ul>	
<b>Bombeo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Horas fuera de servicio.</li> <li>• Cantidad de energía.</li> <li>• Costos de mantenimiento.</li> </ul>	
<b>Distribución a través de canales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Racionamientos.</li> </ul>	
<b>Sistemas de aspersión y/o goteo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en los rendimientos agrícolas (p. ej., cosecha y poscosecha).</li> <li>• Racionamientos del servicio.</li> <li>• Malestar en la comunidad.</li> <li>• Pérdida de empleos.</li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia.

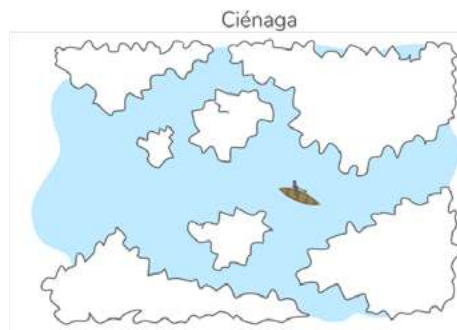
Diagrama conceptual preliminar A4. Importancia del SE de mantenimiento de caudales bajos para campesinos (i. e. con bajo nivel de capital-tecnificación para acceder al agua)



Costos	Toma de agua
Operando con el mismo sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en el sitio de toma de agua, p. ej., desplazarse hacia zonas ubicadas más aguas abajo o aguas arriba de la corriente, o captar agua subterránea.</li> <li>• Comprar agua.</li> </ul>
Cambios estructurales al sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de sistemas de almacenamiento p. ej., tanques.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

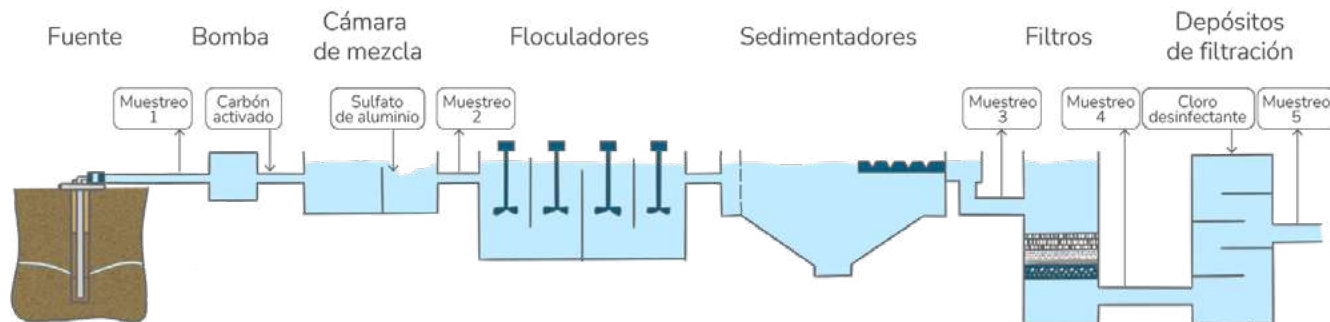
Diagrama conceptual preliminar A5. Importancia del SE de mantenimiento de caudales bajos para pescadores.



Costos	Toma de agua
Operando con el mismo sistema	Pérdidas de tramos de ríos o ciénagas o pérdidas en la profundidad de las mismas debido a procesos de agradación que impidan la navegación para actividades como la pesca.
Cambios estructurales al sistema	

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama conceptual preliminar A6. Importancia del SE de suministro de agua en cantidad para los beneficiarios que captan el agua a través de sistemas de acueductos.



<b>Costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operando con el mismo sistema.</li> </ul>	Cambios estructurales al sistema.
<b>Captación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toma de agua a mayor profundidad.</li> <li>Mayores costos de energía para el bombeo.</li> <li>Periodos sin posibilidad de extraer agua.</li> </ul>	Construcción de sistemas de almacenamiento p. ej., tanques.  Incremento en la profundidad del bombeo.  Compra de equipos de bombeo.  Abandono del pozo.
<b>Bombeo</b>		
<b>Decantación</b>		
<b>Mezcla Rápida</b>		
<b>Floculación</b>		
<b>Decantación</b>		
<b>Filtrado</b>		
<b>Desinfección</b>		
<b>Sanciones y otros costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Racionamientos del servicio.</li> <li>Malestar en la comunidad.</li> <li>Gestión para el abastecimiento mediante otras fuentes (p. ej., distribución con carrotaques).</li> <li>Sanciones por incumplimiento en la calidad o en la prestación del servicio:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Multas.</li> <li>Cancelación de contratos de operadores</li> </ul> </li> </ul>	

Fuente: Elaboración propia.

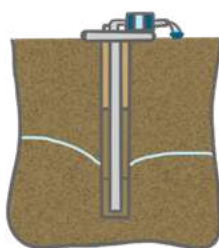
Diagrama conceptual preliminar A7. Importancia del SE de suministro de agua en cantidad para campesinos (i.e., con bajo nivel de capital-tecnificación para acceder al agua)



Costos	Toma de agua desde aljibes
Operando con el mismo sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma de agua a mayor profundidad.</li> <li>• Períodos en los que el agua no está disponible.</li> </ul>
Cambios estructurales al sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de sistemas de almacenamiento p. ej., tanques.</li> <li>• Incremento en la profundidad del aljibe.</li> <li>• Compra de equipos de bombeo.</li> <li>• Abandono del aljibe.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama conceptual preliminar A8. Importancia del SE de suministro de agua para beneficiarios que captan agua subterránea de pozos profundos



Costos	Toma de agua desde aljibes
Operando con el mismo sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toma de agua a mayor profundidad.</li> <li>• Mayores costos de energía para el bombeo.</li> <li>• Períodos en los que el agua no está disponible.</li> </ul>
Cambios estructurales al sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de sistemas de almacenamiento p. ej., tanques.</li> <li>• Incremento en la profundidad del bombeo.</li> <li>• Compra de equipos de bombeo.</li> <li>• Abandono del pozo.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 5. Documento guía para contactar y llevar a cabo conversatorios con potenciales beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos del piloto

### Planeación de encuentros con potenciales beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos

Con el objetivo de recopilar información sobre los servicios ecosistémicos (biofísicos y monetarios) en la región del río Sinú y el golfo de Morrosquillo, se propone desarrollar una serie de reuniones para conocer las percepciones y prioridades de valoración de las comunidades, los usuarios de diferentes sectores y los gestores de la región, e identificar algunas características del entorno y del paisaje.

Los actores identificados para esta serie de encuentros son los siguientes

1. Representantes de los distritos de riego de Mocarí y La Doctrina
2. Central hidroeléctrica de Urrá
3. Empresas prestadoras del servicio de acueducto ubicadas en la zona
  - Uniaguas SA ESP (<https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/informacion-empresa/uniaguas-sa-esp>)
  - Empresas Varias Municipales de Valencia Córdoba ESP “EMPOVALCO” (<https://www.lasempresas.com.co/monteria/empresas-varias-municipales-de-valencia-cordoba-esp-empovalco/>)
  - Veolia aguas De Montería S.A E.S.P (<https://www.veolia.com.co/monteria/>)
- Empresas Públicas Municipales de Tierralta EPM ESP (<https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/informacion-empresa/empresas-publicas-municipales-tierralta-esp>)
- Empresas Públicas Municipales de San Pelayo ESP (<https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/informacion-empresa/empresas-publicas-municipales-san-pelayo-ee-pp-mm>)
- Aguas del Sinú SA ESP (<https://www.informacolombia.com/directorio-empresas/informacion-empresa/aguas-sinu-saesp>)
- Veolia Sabana (<https://www.veolia.com.co/sabana/>)
- Empresa Municipal de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Ovejas SA ESP (<https://aaadeovejas.com/>)
- Aguas de Sucre SA ESP (<https://aguasdesucre.com/>)
- Aguas del Morrosquillo SA ESP (<http://www.aguasdeltorrosquillo.gov.co/>)
4. Autoridades ambientales (Corporaciones Autónomas Regionales)
  - CVS
  - CARSucre
  - CORAntioquia

## 5. Asociaciones de pescadores y de campesinos.

- Asociación de Pescadores Campesinos Indígenas y Afrodescendientes para el Desarrollo Comunitario de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú (<https://sembrandoconfianza.com/asprocig/>) o (<https://es-la.facebook.com/asprocig/>).
- Asociación Campesina para el Desarrollo del Alto Sinú (<https://twitter.com/asodecasoficial?lang=es>)

## Grupos propuestos para organizar las reuniones

Con el fin de alcanzar un número representativo de actores y sus perspectivas, se propone convocar 7 reuniones focalizadas en diferentes grupos y/o sectores:

Fuente	Uso de la información
1	Representantes de los distritos de riego de Mocarí y La Doctrina
2	Empresa Urrá ESP (Hidroeléctrica). Gerencia ambiental o área designada
3	<p>Empresas prestadoras del servicio de acueducto, específicamente en las áreas de servicio[1] de la zona media y baja del río Sinú, y del golfo de Morrosquillo:</p> <p>Uniaguas SA ESP (Cereté, San Carlos, Ciénaga de Oro y Sahagún —Córdoba—)</p> <p>Veolia Aguas de Montería SA ESP (Montería —Córdoba—)</p> <p>Empresas Públicas Municipales de San Pelayo ESP (San Pelayo —Córdoba—)</p> <p>Aguas del Sinú SA ESP (Lorica - Córdoba)</p> <p>Veolia Sabana (Sincelajo, Corozal, Sincé, Chinú y Magangué —Sucre—)</p> <p>Aguas de Sucre SA ESP (San Onofre, Tolú, Palmito, Tolviejo, Plamito, Buenavista, Sincé, el Roble, Galeras, Colosó, Chalán, Ovejas, Los Palmitos, Morroa, Sincelajo, Sampués, San Benito Abada, Sucre, Majagual, Guaranda, Caimito, San Marcos y La Unión —Sucre—)</p> <p>Aguas del Morrosquillo SA ESP (Tolú —Sucre—)</p>
4	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS)
5	Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSucre)
6	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Co-Antioquia)
7	<p>Asociaciones de pescadores y campesinos:</p> <p>Asociación de Pescadores Campesinos Indígenas y Afrodescendientes para el Desarrollo Comunitario de la Ciénaga Grande del Bajo Sinú</p> <p>Asociación Campesina para el Desarrollo del Alto Sinú</p>

Fuente	Uso de la información
8	Otros prestadores del servicio de acueducto: Empresa Municipal de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Ovejas SA ESP (Ovejas —Sucre—) Empresas Varias Municipales de Valencia Córdoba ESP. "EMPOVALCO" (Valencia —Córdoba—) Empresas Públicas Municipales de Tierralta EPM ESP (Tierralta —Córdoba—)

## Metodología de trabajo y preguntas guía

En cada reunión, se darán conversatorios con los participantes, apoyándose en con los diagramas conceptuales preliminares de la importancia de los SE, y guiando la discusión con las siguientes preguntas:

### Reuniones 1 y 7

¿Para qué utilizan el agua?

- Abastecimiento doméstico
- Agrícola
- Industrial
- Servicios (hoteles, restaurantes, etc.)
- Otro \_\_\_\_\_

¿Hace algún uso de transporte fluvial?

- Sí
- No

¿Tiene problemas con el agua en época seca?  
¿Cuáles?

¿Cómo ha enfrentado los problemas con el agua en época seca?

\_\_\_\_\_

¿Qué implicaciones económicas han tenido los problemas con el agua en época seca y las soluciones implementadas?

\_\_\_\_\_

¿Tiene problemas con el agua en época lluviosa?  
¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿Cómo ha enfrentado los problemas con el agua en época lluviosa?

\_\_\_\_\_

¿Qué implicaciones económicas han tenido los problemas con el agua en época lluviosa y las soluciones implementadas?

\_\_\_\_\_

¿Tienen problemas con los sedimentos? ¿Cuáles?

- Sí
- No

¿En los últimos 20 años se han intensificado los problemas con los sedimentos? ¿Qué ha pasado?

- Sí
- No

-----

¿Cómo han enfrentado los problemas de sedimentación?

- Construcción de nuevos sistemas de almacenamiento
- Adecuaciones físicas
- Contratación de personal
- Otro \_\_\_\_\_

¿Qué implicaciones económicas han tenido estos problemas y las soluciones implementadas?

-----

**Reunión 2**

¿Para qué utilizan el agua?

- Generación eléctrica
- Industrial
- Otro \_\_\_\_\_

¿Tiene problemas con el agua en época seca? ¿Cuáles?

-----

¿Cómo ha enfrentado los problemas con el agua en época seca?

-----

¿Qué implicaciones económicas han tenido los problemas con el agua en época seca y las soluciones implementadas?

-----

¿Tiene problemas con el agua en época lluviosa? ¿Cuáles?

-----

¿Cómo ha enfrentado los problemas con el agua en época lluviosa?

-----

¿Qué implicaciones económicas han tenido los problemas con el agua en época lluviosa y las soluciones implementadas?

-----

¿Tienen problemas con los sedimentos? ¿Cuáles?

- Sí
- No

-----

¿En los últimos 20 años se han intensificado los problemas con los sedimentos? ¿Qué ha pasado?

- Sí
- No

-----

¿Cómo han enfrentado los problemas de sedimentación?

- Construcción de nuevos sistemas de almacenamiento
- Adecuaciones físicas
- Contratación de personal
- Otro \_\_\_\_\_

¿Qué implicaciones económicas han tenido estos problemas y las soluciones implementadas?

\_\_\_\_\_

**Reunión 3 y 8**

¿Para qué utilizan el agua?

- Abastecimiento doméstico
- Agrícola
- Industrial
- Servicios
- Otro \_\_\_\_\_

¿Hace algún uso de transporte fluvial?

- Sí
- No

¿Tiene problemas con el agua en época seca?  
¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿Cómo ha enfrentado los problemas con el agua en época seca?

\_\_\_\_\_

¿Qué implicaciones económicas han tenido los problemas con el agua en época seca y las soluciones implementadas? ¿Existe un estudio detallado del impacto económico de estas condiciones hidrológicas (tablas, funciones de costos, etc.)?

\_\_\_\_\_

¿Tiene problemas con el agua en época lluviosa?  
¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿Cómo ha enfrentado los problemas con el agua en época lluviosa?

\_\_\_\_\_

¿Qué implicaciones económicas han tenido los problemas con el agua en época lluviosa y las soluciones implementadas?

\_\_\_\_\_

¿Tienen problemas con los sedimentos? ¿Cuáles?

- Sí
- No

\_\_\_\_\_

¿En los últimos 20 años se han intensificado los problemas con los sedimentos? ¿Qué ha pasado?

- Sí
- No

¿Cómo han enfrentado los problemas de sedimentación?

- Construcción de nuevos sistemas de almacenamiento
- Adecuaciones físicas
- Contratación de personal
- Otro \_\_\_\_\_

¿Qué implicaciones económicas han tenido estos problemas y las soluciones implementadas?

\_\_\_\_\_

**Reuniones 4, 5, 6**

¿Cuál es el uso principal del agua en las cuencas?

- Abastecimiento doméstico
- Agrícola
- Industrial
- Servicios (hoteles, restaurantes, etc.)
- Otro \_\_\_\_\_

¿Hay transporte fluvial en la cuenca?

- Sí
- No

¿Hay afectaciones durante la época seca? ¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿Cómo gestiona la CAR los problemas con el agua en época seca?

\_\_\_\_\_

¿Hay implicaciones económicas para la CAR por los problemas con el agua en época seca? ¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿Hay afectaciones durante la época lluviosa? ¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿Cómo gestiona la CAR los problemas con el agua en la época lluviosa?

\_\_\_\_\_

¿Hay implicaciones económicas para la CAR por los problemas con el agua en época lluviosa? ¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿La cuenca tiene problemas con los sedimentos? ¿Cuáles?

- Sí
- No

\_\_\_\_\_

¿En los últimos 20 años se han intensificado los problemas con los sedimentos? ¿Qué ha pasado?

- Sí
- No

\_\_\_\_\_

¿Cómo han enfrentado los usuarios los problemas de sedimentación?

- Construcción de nuevos sistemas de almacenamiento
- Adecuaciones físicas
- Contratación de personal
- Otro \_\_\_\_\_

¿Hay implicaciones económicas para la CAR por los problemas con el agua en época seca? ¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

¿Qué tipo de inversiones y gastos en la protección y conservación de fuentes de agua actualmente realiza la corporación?

\_\_\_\_\_

¿Qué instrumentos de gestión se encuentran implementados en las cuencas, relacionados específicamente con la gestión de la cantidad y la calidad del agua?

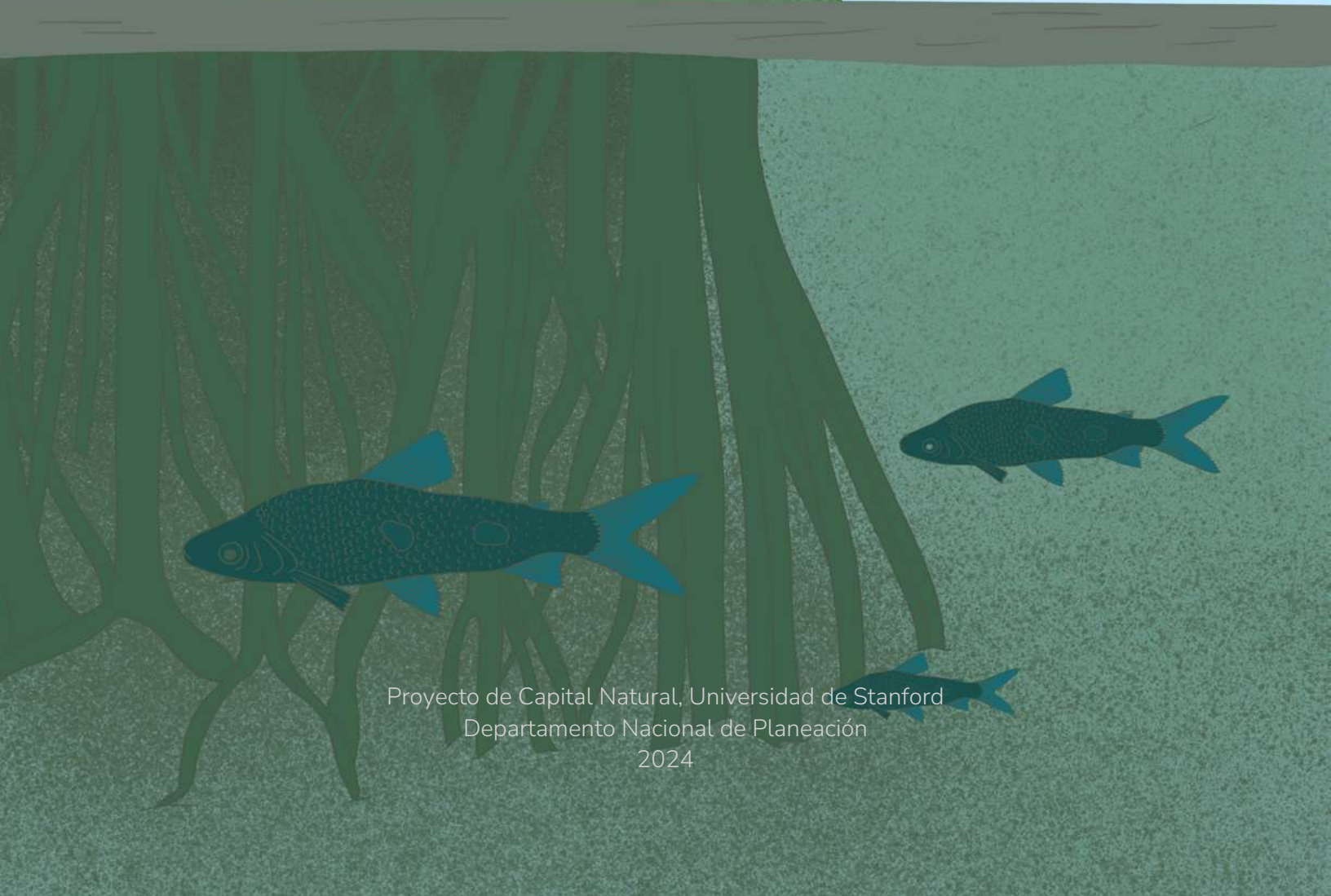
\_\_\_\_\_

\*Algunas empresas de la zona operan en áreas de servicio regionales, que incluyen municipios fuera de la región focal del proyecto. Sería necesario coordinar con las empresas, para que los delegados a la reunión sean personas que específicamente trabajen en los municipios del área de trabajo del proyecto.

## Anexo 6. Listado de reuniones que se sostuvieron con representantes de los potenciales beneficiarios de los Servicios Ecosistémicos

Reunión	Representante	Fecha
Operador del sistema de acueducto de la ciudad de Montería. Veolia Montería ESP	Ingeniero Miguel Hernández	11 de noviembre 2022
ADR. Distrito de adecuación de tierras La Doctrina	Ingeniero Raúl López	17 de noviembre 2022
ADR. Distrito de adecuación de tierras Mocarí	Ingeniera Mónica Vergara	23 de noviembre 2022





Proyecto de Capital Natural, Universidad de Stanford  
Departamento Nacional de Planeación  
2024