



» ARTÍCULO

Servicios y diservicios ecosistémicos en humedales transformados: hidrología y conocimiento local en Catazajá, Chiapas, México

Ecosystem Services and Disservices in Transformed Wetlands: Hydrology and Local Knowledge in Catazajá, Chiapas, Mexico

Claudia Monzón Alvarado¹ , Itzel Edith Conde Compeán² , Dulce María Infante-Mata³ , Sergio Salinas Rodríguez⁴

Adscripciones

- ¹ Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación - El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, México
- ² El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, México
- ³ El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula, Chiapas, México
- ⁴ El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, Tabasco, México

Correspondencia

Sergio Salinas Rodríguez
ssalinas@ecosur.mx

FECHA DE RECEPCIÓN: 13 de marzo de 2025

FECHA DE ACEPTACIÓN: 05 de marzo de 2026

EDITOR ENCARGADO: Dr. Cristian Kraker

© 2026, Claudia Monzón Alvarado *et al.*

Monzón Alvarado, Claudia; Conde Compeán, Itzel Edith; Infante Mata, Dulce María, y Salinas Rodríguez, Sergio (2026). Servicios y diservicios ecosistémicos en humedales transformados: hidrología y conocimiento local en Catazajá, Chiapas, México. *Sociedad y Ambiente*, 29, 1-18. <https://doi.org/10.31840/sya.v2026i29.3177>

Esta es una publicación de acceso abierto bajo la licencia **Creative Commons** Atribución/Reconocimiento-NoComercial -CompartirIgual 4.0 Internacional



[El Colegio de la Frontera Sur](#)
 [Revista Sociedad y Ambiente](#)



ECOSUR

Resumen

Los humedales proveen múltiples servicios ecosistémicos (SE) que sostienen la vida. Sin embargo, la acción humana modifica procesos ecosistémicos, como la conectividad hidrológica y el rango natural de variación de niveles de inundación, alterando el flujo de los SE. La Laguna Grande de Catazajá, Chiapas, ilustra dicha dinámica, pues en 1993 la construcción de diques transformó este humedal temporal en uno permanente. Esta investigación integra un análisis hidrológico para determinar la magnitud y momentos de la pérdida de conectividad, así como los conocimientos locales a partir de entrevistas (n = 60) y dos talleres participativos (n = 28) en cuatro comunidades, para documentar la percepción del cambio en los SE y diservicios ecosistémicos (DSE), los impulsores y los efectos del cambio sobre los modos de vida locales. Más de 26 SE y DSE fueron identificados y analizados para comprender la compleja cascada de efectos e interdependencias entre las acciones humanas, la integridad de los ecosistemas y el flujo de SE y DSE. Los hallazgos evidencian la relevancia de integrar diversos sistemas de conocimientos para dimensionar las problemáticas y mejorar la planeación para la sustentabilidad.

Palabras clave: cuenca Usumacinta; flujo de servicios ecosistémicos; gobernanza ambiental; percepción del cambio; socioecohidrología.

Abstract

Wetlands provide multiple ecosystem services (ES) that sustain life. However, human activity modifies ecosystem processes, such as hydrological connectivity and the natural range of flood-level variation, thereby altering the flow of ES. The Laguna Grande de Catazajá in Chiapas illustrates this dynamic, as the construction of dikes in 1993 transformed this temporary wetland into a permanent one. This research integrates a hydrological analysis to determine the magnitude and timing of connectivity loss, as well as local knowledge gathered through interviews (n = 60) and two participatory workshops (n = 28) across four communities to document change perception on ES and ecosystem disservices (EDS), the drivers, and the effects of change on local livelihoods. More than 26 ES and EDS were identified and analyzed to understand the complex cascade of effects and interdependencies between human actions, ecosystem integrity, and the flow of ES and EDS. The findings highlight the importance of integrating diverse knowledge systems to assess the scope of problems and improve sustainability planning.

Keywords: ecosystem services flow; environmental governance; perception of change; socioecohydrology; Usumacinta basin.

Introducción

Los humedales son sistemas complejos, diversos y únicos que han facilitado la vida gracias a un entramado de interacciones entre sociedad y naturaleza (Mussehl *et al.*, 2022). Para incrementar estos beneficios, las sociedades han desarrollado infraestructuras que modifican el flujo natural del agua para facilitar su utilización (Palomo *et al.*, 2016). Sin embargo, estas alteraciones hidrológicas, según Bunn y Arthington (2002), constituyen la más grave y constante amenaza para la integridad ecológica de los humedales y la biodiversidad que los habita. La alteración de la variación hidrológica natural en los humedales afecta el flujo de servicios ecosistémicos (SE) que sostienen la vida (Mussehl *et al.*, 2022; Arthington *et al.*, 2023).

Existe, pues, una compleja red de interacciones ecológicas y sociales en los humedales impulsadas por fuerzas distantes o próximas, con impactos sobre procesos locales, regionales y globales (Cabello *et al.*, 2015). Las interacciones entre sociedad y naturaleza traen consigo beneficios y afectaciones desde la naturaleza hacia el ser humano, que se conocen como SE y diservicios ecosistémicos (DSE), así como desde las acciones humanas hacia la naturaleza (p. ej., extracción, conservación o restauración) (Lyytimäki, 2014; Shackleton *et al.*, 2016; Tusznio *et al.*, 2020). Abordar el estudio de los humedales y sus desafíos como sistemas socioecohidrológicos es una apuesta para comprender integralmente sus dinámicas y proponer acciones que conlleven a interacciones más sostenibles entre la sociedad y la naturaleza (Jackson *et al.*, 2022; Arthington *et al.*, 2023).

Este artículo examina el vínculo entre la alteración de la variación hidrológica natural —en particular los cambios en la conectividad hidrológica— y el flujo de SE y DSE. La investigación se centra en la Laguna Grande de Catazajá (LGC), humedal Ramsar n.º 1 765, ubicado en la llanura aluvial del río Usumacinta en Chiapas, México, cuya dinámica estacional fue transformada por la construcción de una serie de diques en la década de 1990. Se analiza cómo la construcción de estos diques influyó en la conectividad hidrológica, en el flujo de SE y DSE, y en los modos de vida de quienes habitan la laguna. Se parte de la hipótesis de que los cambios en la co-

nectividad hidrológica son consistentes con los cambios en los SE y DSE percibidos localmente. En particular, 1) se estima el impacto de la construcción de diques en la conectividad ecohidrológica entre el río Usumacinta y la LGC mediante la aplicación de un modelo hidrológico sobre los datos de la estación hidrométrica Boca del Cerro, y 2) se examina la heterogeneidad de conocimientos locales respecto a los impulsores del cambio, las variaciones en los SE y DSE, y los efectos de estas alteraciones en los modos de vida. El estudio abona a la socioecohidrología al dimensionar la magnitud del cambio hidrológico y al analizar, desde el estudio de las percepciones locales, el cambio socioecológico asociado al represamiento del humedal.

Conectividad hidrológica y servicios ecosistémicos

Un humedal es un ecosistema caracterizado por tener suelos con láminas de agua muy cerca de la superficie o cubiertos de agua dulce, salobre o salada, de origen natural o artificial, permanente o temporal, con agua estancada o corriente, y presencia de flora y fauna con adaptaciones a las condiciones de saturación (Mitsch y Gosselink, 2015). Estos ecosistemas son particularmente complejos por sus características hidrológicas y ecológicas, las cuales son moldeadas por las interacciones constantes con el ser humano (Grill *et al.*, 2019). El rango de variabilidad natural del régimen de escurrimientos e inundaciones, entendido como la cantidad de agua que circula en el sistema en el corto y largo plazo (variabilidad estacional e interanual), es crucial en la integridad de humedales (Bunn y Arthington, 2002; Salinas-Rodríguez *et al.*, 2021).

La cantidad y el flujo de agua en un humedal dependen del clima (lluvias y evaporación), la topografía, la cubierta del suelo y la acción humana. Un concepto que recoge la compleja interacción de estos elementos y el régimen de escurrimientos e inundaciones es la conectividad hidrológica. Esta refiere a la conexión que existe entre los diferentes elementos de una cuenca hidrográfica que permiten la transferencia de materia, energía y organismos a través del agua (Poff, 2019). La conectividad hidrológica en una cuenca ocurre en la interacción de cuatro dimensiones: longitudinal (flujo

aguas arriba-abajo), lateral (interacción con la llanura de inundación), vertical (intercambio entre atmósfera-superficie-subsuelo) y temporal (variabilidad a diferentes escalas) (Grill et al., 2019). El presente estudio examina los cambios en la conectividad lateral derivados de la construcción de diques en la LCG y la alteración en el intercambio de flujos de agua, sedimentos, nutrientes y organismos entre la laguna y el río Usumacinta.

Percepciones del cambio socioecológico

El régimen de escurrimientos y la conectividad hidrológica en una cuenca son constantemente modificados por la acción humana; de allí que sea necesario estudiar los humedales y las cuencas como sistemas socioecológicos. La socioecohidrología surge en respuesta a la necesidad de comprender a los humedales más allá del enfoque biofísico, pues busca también analizar las interacciones de las personas con estos ecosistemas (Mussehl et al., 2022). Una de las maneras de abordar estas interacciones es a partir de los SE y DSE, que son las funciones y procesos de los ecosistemas que los seres humanos perciben como beneficiosos o perjudiciales en sus modos de vida, respectivamente (Lyytimäki, 2014; Shackleton et al., 2016).

En este artículo se adopta el modelo de *cascada de servicios ecosistémicos* propuesto por Haines-Young y Potschin (2010) para establecer las conexiones entre las estructuras y procesos de los ecosistemas con los beneficios para la sociedad. La cascada muestra cómo la biodiversidad y las funciones ecosistémicas contribuyen a proporcionar SE y beneficios a la sociedad, y cómo los valores, acciones e instituciones pueden modificar el estado de los ecosistemas. El análisis integra los DSE dentro de la cascada para tener una visión más completa de las interacciones sociedad naturaleza y resaltar cómo el aprovechamiento de algunos SE junto con las (in)acciones humanas puede generar DSE (Lyytimäki, 2014; Shackleton et al., 2016; Nyangoko et al., 2022).

La manera en que las personas observan, entienden, interpretan y evalúan el momento e intensidad del flujo de SE y DSE depende de sus conocimientos, actitudes y valores, que en su conjunto determinan si una función o proceso ecológico se reconoce como un SE o DSE y cómo influye en los modos de vida (Oteros-Rozas

et al., 2014; Nyangoko et al., 2021). En otras palabras, los SE y DSE son resultado de la percepción de cada persona, cuya apreciación es altamente contextual del lugar, el momento, la edad, el género y ocupación de quien los reconoce. Quienes habitan los ecosistemas acumulan conocimientos y reconocen los cambios socioecológicos, los impulsores del cambio, los cambios en la magnitud de un SE o DSE, y las afectaciones o beneficios que estos cambios representan en sus vidas (Nyangoko et al., 2021).

Además de los conocimientos y actitudes que determinan la percepción de beneficio o afectación en vinculación con las funciones y procesos ecológicos, se requiere generalmente de alguna forma de acción humana que catalice el beneficio o limite la afectación; a ello se le conoce como coproducción de SE y hace referencia a los insumos de capital no natural (p. ej., energía, maquinaria, fertilizantes inorgánicos, tecnología y mano de obra) que catalizan o potencian el SE (Palomo et al., 2016). Este abordaje acentúa la necesidad de adoptar una visión socioecológica amplia en la gestión de los SE para incorporar la complejidad en la prestación y la demanda de SE coproducidos.

Gobernanza de los flujos ambientales en humedales

Los caudales o flujos ecológicos o ambientales son definidos como “la cantidad, calidad y régimen de caudales y niveles de agua, necesarios para sostener los ecosistemas acuáticos que, a cambio, dan soporte cultural, económico y los medios de vida sostenibles para las sociedades humanas” (Arthington et al., 2018, p. 1). En México, los caudales ecológicos se evalúan con base en la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012, ratificada en 2017, actualmente en proceso de modificación (Salinas-Rodríguez et al., 2025). Se definen como “la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales” (Secretaría de Economía, 2012, p. 2). Su estudio fundamenta el establecimiento de reservas de agua para protección ecológica; mecanismo de la Ley de Aguas

Nacionales para garantizar su uso sostenible (artículo 41, Salinas-Rodríguez *et al.*, 2021). Implementar caudales ecológicos requiere atender diversos aspectos de la gobernanza de humedales, como articular procesos que integren la participación de las partes interesadas para la formulación de esquemas de compensación entre los usuarios del agua, la eliminación o modernización de la infraestructura hidráulica que promueva la conectividad de flujos ambientales, el codiseño de estrategias para la adaptación al cambio climático y el monitoreo socioecológico participativo (Arthington *et al.*, 2023).

Esta investigación presta especial atención a la co-producción de SE y la integración de los conocimientos de quienes habitan los humedales, como un aspecto crucial para la implementación eficaz de los caudales ecológicos. Se destaca la importancia de articular sistemas de conocimiento local adquiridos a partir de la experiencia con conocimientos académicos ecológicos, hidrológicos y sociales (Tengö *et al.*, 2014; Arthington *et al.*, 2023). Esta integración plantea una apuesta por una comprensión más detallada, diversa y compleja de las problemáticas socioambientales, capaz de abrir espacios de diálogo y orientar acciones humanas más sustentables.

Metodología

Área de estudio

El sistema lagunar Catazajá es una Zona Sujeta a Conservación Ecológica y humedal de importancia internacional (sitio Ramsar No. 1 765) con un área de ~ 41 mil ha. Se ubica en el municipio de Catazajá sobre rocas sedimentarias y vulcano-sedimentarias del Cuaternario y Terciario con suelos predominantemente gleysoles, luvisoles, fluvisoles y vertisoles en la provincia llanura costera del Golfo (subprovincia Llanuras y Pantanos de Tabasco), al noroeste del estado de Chiapas, en la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH30), cuenca Usumacinta, subcuenca Catazajá (UTM, 15Q, 1970176 m N y 604209 m E) (Instituto de Historia Natural y Ecología, 2006; Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda, 2010). Los tipos de clima dominantes son el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am) y cálido

con lluvias en todo el año y temperatura media anual ≥ 22 °C (Afm) con dos estaciones: estiaje de noviembre a mayo con precipitaciones que oscilan entre 500 y 700 mm, y lluvias de mayo a octubre con precipitaciones de 1 400-1 700 mm; por lo que las comunidades florísticas son características de selvas baja y mediana subperennifolia, baja y alta perennifolia, tulares y sabanas (Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda, 2010).

La investigación se centró en la LGC ya que cubre ~ 8 100 ha de cuerpos de agua permanentes e intermitentes con profundidades de hasta tres metros (Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda, 2010; La Convención sobre los Humedales, 2023). El agua fluye del río Usumacinta al sistema lagunar por efecto del desnivel (4-1 msnm). El sistema lagunar se conecta y se llena de agua, de sedimentos y nutrientes aportados por las crecidas o eventos extraordinarios del río Usumacinta, a través de varios tributarios, efluentes o cauces secundarios, entre los que destaca río Chico (Salinas-Rodríguez *et al.*, 2021) (Figura 1). Barba Macías *et al.* (2018) clasificaron los tipos de humedales según su relación actual con el régimen del río Usumacinta: permanentes fluctuantes y no fluctuantes en función de la variación de niveles de inundación (escasa o significativa), estacionales no permanentes y temporales no permanentes (1 y > 1 año de periodo de retorno, respectivamente) (Figura A1 en Anexos).

Hasta la década de 1990, la LGC era estacional: se llenaba en la temporada de lluvias y se secaba durante el estiaje. La población se dedicaba a la pesca durante la temporada de lluvias y, durante el estiaje, se aprovechaba la fertilidad de los suelos inundables para siembra de temporal y el rebrote de pastos para alimentar al ganado (Instituto de Historia Natural y Ecología, 2006). Sin embargo, a partir de 1993, el Gobierno del Estado de Chiapas construyó seis diques para favorecer la pesca permanentemente (Instituto de Historia Natural y Ecología, 2006). El dique de mayor tamaño está ubicado en la comunidad de Paraíso (~ 3 m de altura y ~ 65 m de longitud).

Según el último censo de población, en el municipio habitan 17 619 personas. Las localidades más pobladas son la cabecera municipal, Playas de Catazajá (3 344 habitantes), Punta Arena (1 305 habitantes), Ignacio

Figura 1. Laguna Grande de Catazajá, Chiapas: a) sureste de México, b) estación hidrométrica Boca del Cerro (clave 30 019) en el río Usumacinta y relación con el sistema lagunar y c) Laguna Grande de Catazajá, comunidades de estudio, diques y conexión a través del río Chico



Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de campo y mapa base de Google Earth.

Zaragoza (909 habitantes) y Paraíso (566 habitantes) (Secretaría de Economía, 2026). En las últimas tres décadas, pasó de ser un municipio basado en la agricultura de subsistencia, ganadería y pesca, a un territorio en el que comienzan a desarrollarse ciertos servicios ecoturísticos y producción agroindustrial de palma de aceite (Reyes-Barrón *et al.*, 2017). En un estudio previo, Reyes-Barrón *et al.* (2017) desarrollaron una investigación acerca de la reconfiguración del territorio derivada de la construcción de los diques a partir del mapeo de actores, modos de organización y análisis de redes. Dichos autores destacan que quienes habitan los territorios han vivido el impacto tanto de sus decisiones, como el de las políticas gubernamentales, por lo que sostienen que es crucial documentar su perspectiva sobre lo que se gana y pierde con la implementación de este tipo de políticas y decisiones, a fin de transitar hacia sociedades con mayor justicia ambiental y sostenibilidad.

Variabilidad estacional e interanual del régimen de inundaciones y análisis del cambio en la conectividad hidrológica

La LGC dependía de los caudales altos, pulsos de inundación y eventos extraordinarios típicos de la temporada de lluvias (junio-octubre) aun en años considerados secos (Salinas-Rodríguez *et al.*, 2021). Dada la construcción de los diques, se modificó la dinámica de inundación y la conectividad lateral. Márquez-García y Expósito-Díaz (2018) desarrollaron un modelo hidráulico que refiere que el agua del río Usumacinta conecta con el río Chico a ≥ 2 mil m^3/s . Salinas-Rodríguez *et al.* (2021) estimaron que caudales ≥ 3 mil m^3/s son necesarios para que el agua del río Chico proveniente del río Usumacinta rebase el nivel de los diques y conecte con la LGC.

Para el análisis hidrológico desarrollado en este estudio se utilizaron las observaciones de caudales del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (<https://app.conagua.gob.mx/bandas/>) operado por la Comisión Nacional del Agua. Se trabajó con información de la estación hidrométrica Boca del Cerro en Tenosique, Tabasco (clave 30019), que cuenta con registros diarios de julio de 1948 a septiembre de 2024. Esta información cumple estándares académicos y normativos mexicanos

ya que es la estación de monitoreo más cercana a la LGC, se encuentra aguas arriba y presenta buena abundancia y calidad de registros (> 30 años por periodo de análisis, $\leq 4\%$ de vacíos) (Secretaría de Economía, 2012; Salinas-Rodríguez *et al.*, 2020).

El análisis se enfocó en el estudio de los atributos fundamentales del régimen de inundaciones: magnitud, momento, frecuencia de ocurrencia y duración de los diferentes eventos de inundación (Salinas-Rodríguez *et al.*, 2020). Un evento corresponde a un episodio en el que se registra un caudal igual o superior a una magnitud específica en dos o más días consecutivos. Estudiar la magnitud de los eventos implica analizar el volumen de agua por unidad de tiempo (m^3/s). Además, se caracteriza el momento registrando los meses del año en que dichos eventos se presentan. La frecuencia de ocurrencia consiste en la contabilización de eventos a lo largo del tiempo y la duración de la cantidad de días consecutivos.

Dada la evidencia provista por Márquez-García y Expósito-Díaz (2018) y Salinas-Rodríguez *et al.* (2021), los cambios en el régimen hidrológico (magnitud, momento y duración) se analizaron a partir del momento y frecuencia de ocurrencia de los eventos entre los 2-3 mil m^3/s antes y después de 1993, que corresponden a la magnitud de caudal del río Usumacinta que dejó de conectarse con la LGC por la construcción del dique principal sobre río Chico. La duración se contabilizó a través del número de días consecutivos que se mantuvo el caudal en dicho rango en ambos periodos. Finalmente, se obtuvo la diferencia entre la cantidad de eventos 2-3 mil m^3/s por periodo en cada uno de los meses y su relación en porcentaje respecto al total, como un indicador sobre la magnitud del impacto para el periodo 1993-2024.

Percepción del cambio socioecológico

Para la identificación y análisis del cambio socioecológico, se examinó la heterogeneidad de conocimientos de quienes habitan la LGC a través del uso de metodologías mixtas que integran el análisis hidrológico con entrevistas, mapeo participativo y fuentes de información secundaria. La identificación de los posibles SE, DSE y especies asociadas a la LGC se realizó mediante una revisión de literatura. El listado resultante fue compartido

con habitantes del área de estudio para complementar y asegurar que la manera de nombrar los SE, DSE y especies hiciera sentido para las y los participantes. Posteriormente, se aplicó una entrevista semiestructurada para conocer las percepciones del cambio en los SE, DSE y las especies. Este instrumento constó de cinco secciones: 1) información sociodemográfica, 2) conocimientos locales del flujo de agua, 3) percepción del cambio en SE, DSE y especies de flora y fauna, 4) impulsores del cambio y 5) impacto socioecológico en los modos de vida.

Para aportar información sobre el cambio socioecológico, durante el mes de mayo de 2022 se aplicaron entrevistas a 60 personas mayores de 45 años y con al menos 15 años residiendo en cuatro comunidades: Paraíso, Playas de Catazajá, Zaragoza y Punta Arena. Las personas entrevistadas se dedicaban a una o varias de las actividades siguientes: pesca (33 %), campo (37 %), servicios (20 %) y hogar (23 %). Se estima que existe una población de 1 988 personas mayores de 45 años en tales localidades (Secretaría de Economía, 2026), por lo que dicho esfuerzo conlleva un margen de error de 12 % considerando un nivel de confianza de 95 %. Durante las entrevistas se compartió con los participantes el alcance y objetivos de la investigación mediante el proceso de consentimiento libre, previo e informado.

Además, se realizaron dos talleres sobre mapeo participativo e historia socioecológica para complementar el estudio de las percepciones locales en Paraíso (17 asistentes) y en Playas de Catazajá (11 participantes), donde se plasmaron las diferencias espaciales percibidas por los integrantes de las comunidades; líneas de tendencia del cambio de diferentes SE, DSE y especies que permitieron identificar y discutir sobre las tendencias y momentos clave de la historia local. Las tendencias se complementaron con una línea del tiempo construida a partir de fotografías históricas pre- y posdique compartidas por algunas personas participantes, así como con las experiencias, momentos y procesos clave que marcaron puntos de inflexión en el cambio socioecológico.

Conocimientos locales hidrológicos: las siguientes preguntas permitieron identificar los conocimientos sobre la hidrología local, así como las percepciones del

cambio en la conectividad lateral: ¿de dónde proviene el agua que alimenta la laguna?, ¿cuántas semanas permanece conectada la laguna con el río Chico?, ¿en qué meses tiene lugar esa conectividad? Las últimas dos preguntas se indagaron haciendo un contraste antes del dique y actualmente. El análisis del momento de la conectividad se realizó mediante un conteo de frecuencias por mes que se plasmó gráficamente para ser comparada con la información del análisis hidrológico.

Impulsores del cambio socioecológico: para conocer los factores que las personas relacionan con el cambio socioecológico se realizó un listado. Las respuestas se codificaron, agruparon y analizaron según la frecuencia de mención.

Cambio socioecológico: para cada SE, DSE y especies se indagó en la entrevista respecto a las condiciones actuales y las previas a la construcción de los diques. Se analizaron los resultados aplicando el rango intercuartílico, un método robusto y de uso común para determinar el consenso, especialmente cuando se utilizan escalas tipo Likert que permiten evaluar la dispersión de las respuestas y si se ha alcanzado un nivel de consenso predeterminado (Von der Gracht, 2012). Ante el elevado número de SE, DSE y especies, así como sus interrelaciones ecológicas, se agruparon dichos elementos en cuatro categorías de análisis: 1) regulación, que comprende los elementos de estructura y función del ecosistema, 2) biodiversidad, 3) pesquerías y 4) salud. La interpretación de los resultados integró adicionalmente la triangulación de las fuentes de información (entrevistas, líneas de tendencia y mapas participativos elaborados en los talleres).

Impactos en los modos de vida: en la entrevista se especificaron seis categorías de modos de vida para que las personas expresaran cómo perciben los efectos del cambio socioecosistémico: 1) acceso a servicios públicos, 2) estabilidad económica, 3) estabilidad laboral, 4) espacios y momentos de recreación, 5) seguridad y 6) social y transporte. Estas fueron recategorizadas en tres categorías generales de impactos para su análisis: 1) sobre el cambio en la seguridad, donde se incluyeron el acceso a servicios públicos, transporte y seguridad, 2) en la economía, donde se colocaron afectaciones monetarias y laborales y 3) en las relaciones sociales, que incluyen

las interacciones entre personas, así como el disfrute de espacios de recreación. Estas categorías de impactos en los modos de vida fueron sobrepuestas en una matriz junto con los cambios por grupo de SE, DSE y especies para el análisis integrado.

La socialización de los resultados con los habitantes de las comunidades participantes se realizó en los talleres de mapeo participativo e historia (agosto 2022) y en el taller de devolución de resultados (agosto 2023) en el marco de la colaboración con el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia *Ecohidrología para la sustentabilidad y gobernanza del agua y cuencas para el bien común* (PRONAI clave 318956), a través de dos afiches y una plática sobre los conocimientos locales y el cambio socioecológico.

Resultados y discusión

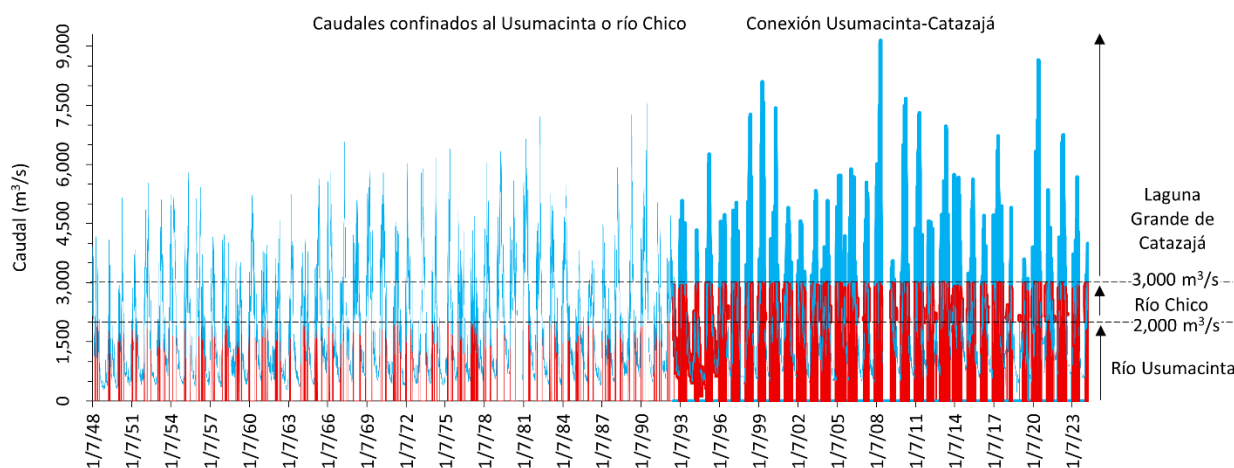
Cambios en la conectividad hidrológica

El río Usumacinta en la estación hidrométrica Boca del Cerro cuenta con 27 212 días de registros de caudales, del 1 de julio de 1948 al 5 de septiembre de 2024 (Figura 2): 16 113 días de 1948-1992 y 11 099 días de 1993-2024, diferencia debida a la cantidad de años por periodo (45

y 32, respectivamente). Se registraron 888 eventos mayores a 2 mil m³/s con duración de dos o más días consecutivos, 469 de 1948-1992 y 419 de 1993-2024 (Cuadro A1 en Anexos). Por lo que respecta a eventos ≥ 3 mil m³/s, se registraron 607 en el periodo completo, 325 previos y 282 posteriores a los diques. Estos eventos son los que se sabe con certeza que continúan ingresando a la LGC (Márquez-García y Expósito-Díaz, 2018; Salinas-Rodríguez *et al.*, 2021). Entonces, la diferencia entre el número de eventos con caudales iguales o mayores a 2 mil m³/s, pero inferiores a 3 mil m³/s que se presentaron de 1993-2024, es decir, 161 en 2 139 días, es la cantidad de eventos que dejaron de ingresar a la LGC (~ 40 % de pérdida).

Para dimensionar la pérdida de conectividad lateral, se analizó el cambio a lo largo del año. El análisis revela que los meses de estiaje (enero-junio) presentan la mayor magnitud del impacto (54-100 %); incluso, casi desaparece en febrero y mayo, y se pierde completamente en marzo y abril. En contraste, la magnitud del impacto por la pérdida de eventos en la temporada de lluvias es menor (< 50 % de julio-diciembre). En general, este patrón corresponde con los resultados de las entrevistas. La situación previa al represamiento revela tanto en el número de eventos que ingresaron a la laguna como en

Figura 2. Régimen de caudales del río Usumacinta



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la estación hidrométrica Boca del Cerro (clave 30019) de 1948 a 2024.

lo referido por la gente donde la mayor concentración se presentaba a lo largo de la temporada de lluvias.

La correspondencia entre los análisis hidrológicos y de percepciones cobra relevancia al reconocer que ambas fuentes de información son consistentes a pesar de tener limitaciones. El modelo hidrológico se alimenta de información de la estación hidrométrica de Boca del Cerro, que se encuentra a más de 50 km río arriba de la LGC, mientras que las percepciones locales están sujetas a fallos en la memoria. Aunque lo ideal sería contar con el análisis de frecuencias de eventos del río Usumacinta que ingresan a la laguna en todos los diques, actualmente solo río Chico cuenta con modelaje y evidencia empírica sobre la magnitud de eventos que alcanzan a la laguna. Tanto Márquez-García y Expósito-Díaz (2018) como Salinas-Rodríguez *et al.* (2021), acotan sus resultados a esta limitación argumentando que este dique es, además de representativo, el de mayor tamaño. Los resultados del análisis hidrológico de conectividad en esta investigación representan la mejor aproximación de cuantificación de su interrupción.

Ante estas limitaciones, es crucial retomar un enfoque de múltiples evidencias propuesto por Tengö *et al.* (2014), en el que se destaca que los conocimientos teóri-

co-técnicos pueden validar o respaldar los conocimientos indígenas o locales, y enfatiza la complementariedad de los sistemas de conocimiento, creando un panorama de estudio más enriquecido. En esta investigación, ante la evidencia de ingreso del agua al río Chico a partir de 2 mil m³/s y a la laguna a partir de 3 mil m³/s, se evaluó la interrupción de la conectividad hidrológica lateral entre la LGG y el río Usumacinta a través de la diferencia entre los eventos de ambas magnitudes a partir de 1993. Este resultado fue confirmado a través de los conocimientos locales y su percepción del cambio.

Impulsores del cambio socioecológico

El cambio socioecológico en Catazajá es multifactorial. Los participantes identificaron que la construcción de los diques ha modificado la dinámica del humedal (ver Imágenes 1-9 en Anexos). Sin embargo, también reconocen que no es el único factor que influye, sino que existe una sinergia entre impulsores tanto naturales como antropogénicos que han llevado al cambio socioecológico (Figura 3). Informes técnicos en la zona evidencian que desde 2004 ya era identificada la contaminación por el uso de fertilizantes, pesticidas y el mal manejo de residuos sólidos, por su contribución al deterioro am-

Figura 3. Percepción local de los impulsores del cambio socioecológico de la Laguna Grande de Catazajá, Chiapas, México



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de las encuestas aplicadas.

biental de la laguna. Además, el cambio de uso de suelo, la alteración de los ciclos hidrológicos, la sobrepesca de especies nativas e introducción de exóticas también son factores identificados (IDESMAC, 2004). Después de 20 años, persisten los mismos impulsores del cambio socioecológico con mayor intensidad y efectos acumulados.

Los impulsores del cambio documentados en esta investigación coinciden con los reportados previamente. Nyangoko *et al.* (2022) encontraron en su estudio, como principales impulsores del cambio, la degradación del hábitat, la influencia de la variabilidad del clima o cambio climático, el agotamiento de recursos y el crecimiento de la población. La mayor parte de estos impulsores derivan de la acción o inacción humana y sus impactos pueden influir de manera diferenciada en el flujo de servicios y diservicios (p. ej., la introducción de especies como la tilapia puede ser benéfica para algunas personas en un primer momento, pero perjudicial

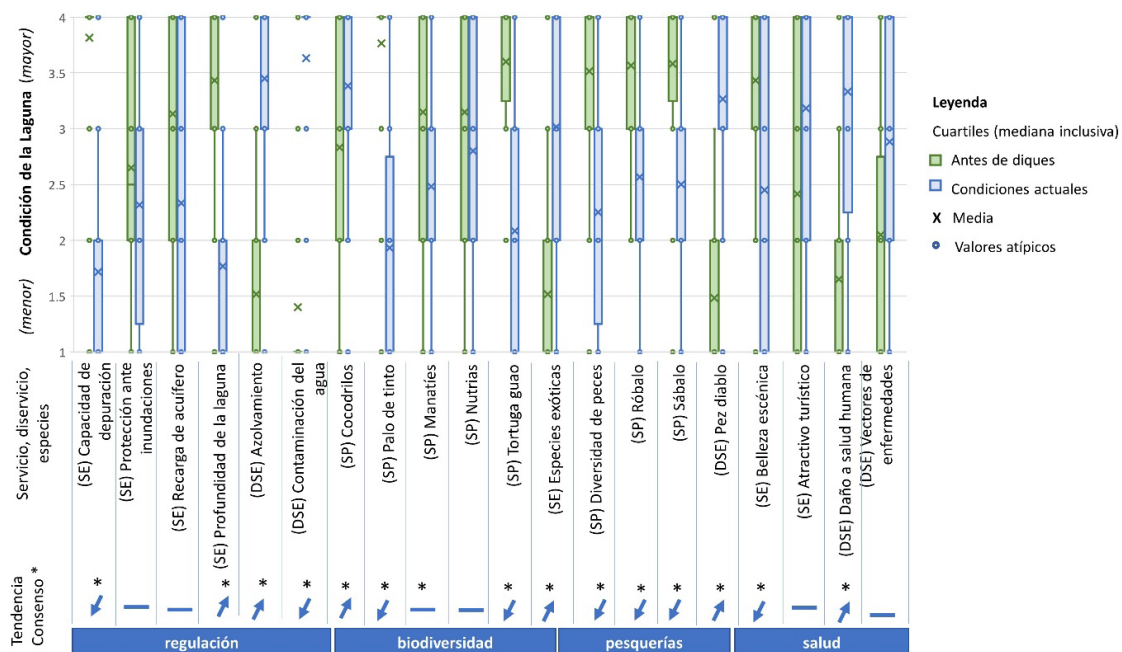
para las especies pesqueras locales y las personas que las valoran).

Percepción del cambio en el flujo de servicios y diservicios ecosistémicos

Los resultados evidencian que las personas participantes perciben tendencias consistentes en los cambios de SE, DSE y especies asociadas con la regulación, la biodiversidad, las pesquerías y la salud. La Figura 4 muestra la dispersión en las respuestas sobre la percepción del cambio socioecológico antes y después de la construcción de los diques para los SE, DSE y especies, así como las tendencias generales y los casos donde hay consenso sobre cambios particulares (Cuadro A2 en Anexos).

Respecto a los cambios en la estructura, funciones del ecosistema y la capacidad de regulación de la laguna, hay consenso en que la capacidad de recambio de agua era mayor antes de la construcción de los diques y que actualmente tiene menos capacidad de sanearse naturalmente, lo que vuelve problemático el crecien-

Figura 4. Percepción del cambio socioecológico en la Laguna Grande de Catzajá, Chiapas, México: magnitud y tendencias del cambio



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de las encuestas.

te volumen de lodos y su azolvamiento. Asimismo, hay consenso en que antes la profundidad de la laguna (a pesar de ser estacional) era mayor y se encontraba menos contaminada. Si bien el azolvamiento de la laguna reduce su capacidad de almacenamiento, aunque variable según la estación, la evidencia testimonial confirma que posterior a su represamiento permanece inundada todo el año. Esto sugiere que el volumen que le cabe a la LGC sigue siendo mayor a las tasas de infiltración, evaporación y de usos del agua. Además, se perdió parte de la circulación del agua ya que al ingresar se queda represada, los volúmenes de salida (infiltración, evaporación y usos extractivos) son inferiores a los de entrada, así como la capacidad de remoción de sustratos en el fondo y la renovación de hábitat. De acuerdo con Bunn y Arthington (2002), la circulación del agua regula funciones como la purga de especies invasoras y promueve el crecimiento de aquellas que necesitan fluctuaciones de niveles de agua y que, si bien continúan en alguna proporción, la LGC permanece represada. Esto también es consistente con los resultados obtenidos ya que las personas manifiestan que la laguna tiene menor capacidad para purgar especies exóticas.

Con respecto a los cambios en las condiciones del hábitat para especies de interés local hay consenso de que las condiciones actuales son muy buenas para los cocodrilos (*Crocodylus moreletii*), intermedias para los manatís (*Trichechus manatus manatus*) y que han empeorado para la tortuga guau (*Staurotypus triporcatus*) y el palo de tinto (*Haematoxylum campechianum*). Desde 2004, se reporta que la extinción del palo de tinto se debía a la inundación permanente de la laguna, además del azolvamiento que para ese año apenas empezaba a ser identificable (IDESMAC, 2004). Solamente en el caso de los cocodrilos las personas participantes notaron un incremento en las tendencias, argumentando que es un animal generalista y puede sobrevivir y adaptarse a distintos entornos. El cambio en la dinámica de inundación de un cuerpo de agua estacional a uno inundado permanentemente implica mayor disponibilidad de hábitat que la situación previa al dique. Con ello, aunado al estado de protección de los cocodrilos (NOM-059-SEMARNAT-2010, Lista Roja de UICN y CITES), sería esperable que su población incremente.

Con respecto al aprovisionamiento pesquero, hay consenso en que antes había mayor diversidad de peces de especies exóticas o comerciales, y que las condiciones para el robalo y el sábalo (nativas) eran mejores, aunque no hay una atribución directa ni exclusiva de este hecho a la construcción de diques. Recuerdan que antes no había problemas por la presencia de especies introducidas como la tilapia y el pez diablo (*Hypostomus plecostomus*). Según registros locales, desde 2004 se reporta que el 90 % de las pesquerías provenía de especies introducidas y que las especies nativas ya habían sido desplazadas y sobreexplotadas (IDESMAC, 2004). Las personas reconocen claramente los cambios en los servicios de aprovisionamiento pesquero ya que dichos cambios se traducen en ganancias o pérdidas económicas para las familias que dependen de esta actividad. Esto coincide con los hallazgos de Nyangoko *et al.* (2021) sobre percepciones del cambio en SE en manglares de Tanzania.

En términos de los cambios en la laguna y las implicaciones en la salud (física y mental), hay consenso en que antes de los diques era menos probable que el agua de la laguna causara molestias en la piel. Actualmente hay consenso al respecto entre las personas participantes de Paraíso y en Playas de Catazajá. En general, hay consenso en que la belleza escénica de la laguna era mayor antes de la construcción de los diques, aun si algunos reconocen que la laguna podría ser un atractivo turístico. Las personas participantes hicieron la distinción entre la belleza escénica para quienes habitan la laguna y para las y los turistas, mencionando que son valores y preferencias distintas. Sin embargo, hay mucha heterogeneidad respecto a estos valores y preferencias, que se evidencian con la gran variación en las respuestas en la escala de importancia.

Impactos del cambio socioecológico en los modos de vida

Los cambios en el flujo de SE y DSE afectan de diversas maneras los modos de vida de la población (Cuadro A3 en Anexos). La pérdida de capacidad de depuración de la laguna y el aumento de la contaminación afecta a los modos de vida locales (74 % y 55 % de participantes, respectivamente), especialmente por los impactos en

las relaciones sociales (51% y 33%) ante la imposibilidad de disfrutar la laguna por los problemas de contaminación. La pérdida de profundidad de la laguna y el incremento del azolve afecta los modos de vida de 2/3 de las y los participantes, con impactos en la economía de al menos 1/3 de éstos.

De los cambios en la biodiversidad, la pérdida de palo de tinta es la que se percibe como de mayor impacto en los modos de vida, particularmente por las afectaciones económicas, mientras que el declive de especies de tortugas se reconoce que afecta económica y culturalmente al 20% de las personas participantes. Un ejemplo de lo que los habitantes añoran o perciben como afectación por el cambio socioecológico es la desaparición de la tortuga guau. En los testimonios y grupos focales varias personas comentaron que esta especie tenía un valor cultural ya que era el platillo típico de Semana Santa. Hay registros que señalan que, desde hace dos décadas, las poblaciones de esta tortuga se encontraban en peligro (IDESMAC, 2004) dada la alta demanda, sobreexplotación y aprovechamiento previo a su etapa reproductiva que condujeron a su desaparición en la laguna, por lo que se recomienda realizar nuevos estudios sobre la abundancia de esta y otras especies de interés de conservación.

Los cambios en el aprovisionamiento pesquero afectan particularmente el ámbito económico. Nyangoko *et al.* (2022) señalan que las personas tienden a percibir con mayor frecuencia el declive de los servicios de provisión que el de los servicios de regulación, culturales y de soporte, debido a su valor directo y su impacto inmediato en los medios de vida. Los resultados aquí presentados coinciden en que la reducción en el aprovisionamiento pesquero genera impactos económicos significativos, sin embargo, también revelan reconocimiento generalizado y consistente del deterioro en la capacidad de depuración de la laguna, aun cuando este no se traduzca de forma directa en afectaciones económicas. En conjunto, estos cambios socioecológicos son identificados por la población como una amenaza a la seguridad. Por su parte, la pérdida de belleza escénica reduce los espacios de recreación (64%) y afecta los

modos de vida, especialmente a través de impactos en las relaciones sociales.

Implicaciones en la gobernanza del sistema lagunar

La construcción y operación de presas y desvíos del agua han alterado significativamente los procesos fluviales, perjudicado el funcionamiento de ecosistemas acuáticos y propiciado la pérdida de su biodiversidad (Grill *et al.*, 2019). Catazajá evidencia que no solo las grandes infraestructuras, como las presas o el desvío de los ríos, modifican el sistema socioecológico. Las infraestructuras menores, como la construcción de diques de 2 a 3 m de altura (ver Imágenes 1-9 en Anexos), provocan un impacto sobre los procesos hidrológicos, la fauna, flora y el flujo de SE y DSE. Reyes-Barrón *et al.* (2017) documentaron la reconfiguración del territorio a raíz del embalse de la LGC, evidenciando los cambios en los modos de vida en torno al ecoturismo, la acuacultura y la producción de palma de aceite (*Elaeis guineensis*). Su estudio se centra en el análisis de las formas emergentes de organización social que son configuradas y reconfiguran el territorio. El presente estudio aborda de manera participativa e interdisciplinaria (ecohidrología y geografía humana) los efectos del cambio socioecológico en el flujo de SE, DSE y especies de interés local, y los efectos en el bienestar.

Esta investigación evidencia el interés de estudiar los DSE. Como menciona Blanco *et al.* (2019), los DSE pueden manifestarse por un impacto negativo directo en el bienestar humano o en el suministro de SE. Además, pueden generarse por el funcionamiento de los ecosistemas o por la respuesta de estos a las prácticas humanas. Los resultados aquí expuestos señalan que uno de los DSE que se identificó con mayor frecuencia en el área de estudio fue la contaminación del agua. Este es un DSE coproducido en sinergia por diferentes acciones e inacciones humanas (p. ej., la construcción de diques, el mal manejo de residuos sólidos y de aguas residuales, escurrimientos de agroquímicos, entre otras). Desde 2004 se reconocía este problema causado por la descarga de aguas no tratadas a la laguna. Sin embargo, para ese año se consideraba que el embalse aún tenía

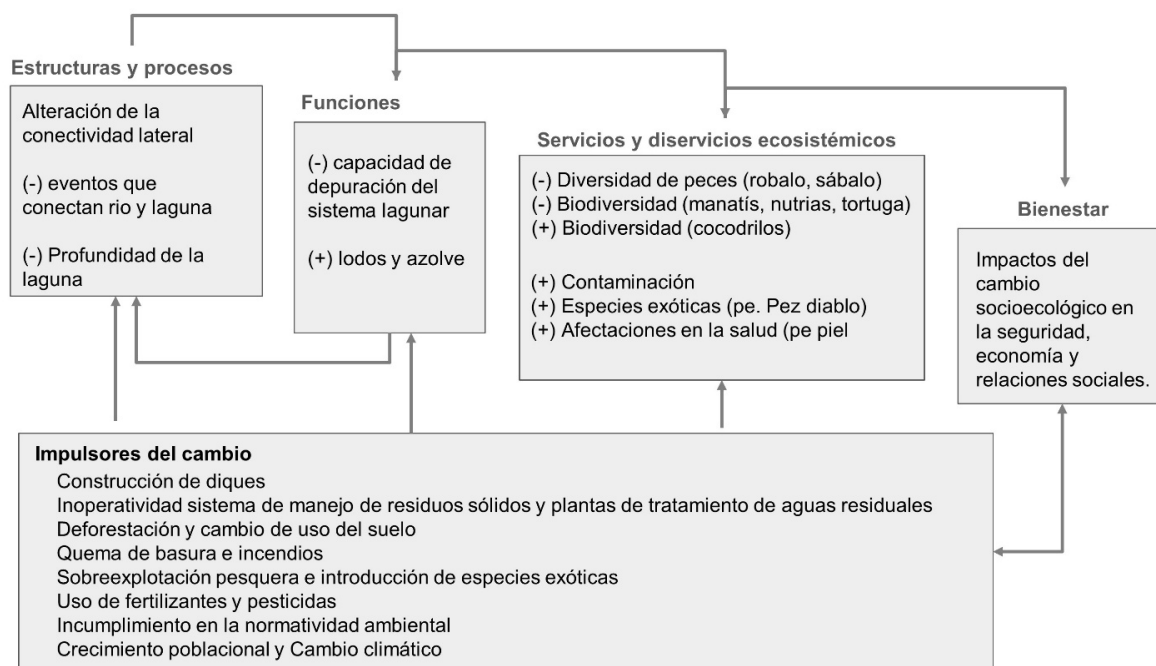
capacidad de renovar el agua a través de los ciclos hidrológicos naturales y que las concentraciones de contaminantes no eran alarmantes ya que la red de canales fluviales permitía la renovación del agua y la filtración paulatina de los desechos residuales. Dos décadas después, la contaminación del agua de la laguna es percibida como uno de los DSE más graves por la acumulación de los efectos de las (in)acciones referidas.

Otros de los DSE más mencionados son la presencia de especies exóticas y las afectaciones de la contaminación en la piel de las personas. Blanco *et al.* (2019) han documentado cómo en Canadá, África y Tailandia, los DSE tienen mayor relevancia e interés en la toma de decisiones que los SE. En Catazajá, constatamos que muchas de las personas participantes en esta investigación se concentraban mayormente en el aumento de DSE y externaban sus sugerencias o ideas de manejo, restauración o mitigación con base en los DSE.

Un aspecto adicional se refiere al alcance de la cascada de servicios ecosistémicos. La Figura 5 presenta una síntesis de los hallazgos de esta investigación ilustrando SE y DSE en relación con la integridad de los ecosistemas y el bienestar humano. Sin embargo, es crucial reconocer que los cambios en las funciones y procesos ecológicos pueden aumentar o disminuir los SE y DSE simultáneamente (Blanco *et al.*, 2019).

Una de las limitaciones del marco de la cascada de SE es ilustrar con mayor claridad cómo interactúan entre sí los múltiples SE y DSE en entornos complejos y cambiantes, y entre los componentes ecológicos y sociales (Saïdi y Spray, 2018). Spake *et al.* (2017) proponen el estudio de conglomerados o asociaciones de SE que ocurren cuando múltiples servicios (y diservicios) responden al mismo impulsor de cambio o proceso ecológico, o cuando las interacciones entre los mismos servicios hacen que los cambios en uno alteren la provisión de otro. Para futuras investigaciones se sugiere

Figura 5. Cambios socioecológicos en la Laguna Grande de Catazajá, Chiapas, México y sus efectos en el flujo de servicios y diservicios ecosistémicos



Fuente: Elaboración propia a partir de Haines-Young y Potschin (2010).

co-construir tales conglomerados con quienes habitan los territorios de estudio, complementando la definición de conglomerados con los conocimientos locales, otros conocimientos, datos académicos y prácticos.

Dado el complejo y dinámico entramado entre la integridad ecológica, SE, DSE, especies y los impactos en los modos de vida, las decisiones de manejo suelen implicar elegir entre potenciar determinados SE o mitigar DSE específicos. Estas compensaciones deben ser explícitamente consideradas tanto en la investigación como en el diseño de políticas ambientales. El caso Catazajá ilustra cómo, al optar por potenciar las pesquerías mediante la represa de la LGC y la introducción de tilapia, se transformó el sistema socioecohidrológico y detonó una cascada de efectos sobre la integridad de los ecosistemas y el bienestar humano. En nombre del desarrollo económico local, el gobierno priorizó en su momento un manejo monofuncional del sistema lagunar, centrado en la función pesquera. Frente a ello, resulta fundamental transitar hacia esquemas de manejo multifuncionales y multinivel que potencien de manera simultánea diversas funciones ecosistémicas.

Transitar de infraestructura gris, como los diques en Catazajá pensados para potenciar un SE (pesquerías), a otros enfoques de infraestructura verde (Brauman, 2015) que consideren los múltiples SE y DSE, podría ser uno de los pasos hacia la sustentabilidad y la gobernanza adaptativa basada en ecosistemas. Consideramos crucial rehabilitar flujos naturales entre la laguna, ríos y humedales adyacentes, anticipando que ello tendrá un efecto en cascada para mejorar la capacidad de saneamiento natural de la laguna. Lo anterior puede hacerse mediante obras de reconexión controlada (p. ej., compuertas o canales temporales), favoreciendo la renovación del agua, el transporte de nutrientes y sedimentos, y la migración de especies. Además, resaltamos que la capacidad de anticipar los efectos positivos y negativos de cualquier decisión es robustecida en la medida en que se incluyan diversas voces y saberes locales en la toma de decisiones para una gestión más adaptativa y equitativa. En concreto, la restauración de la conectivi-

dad hidrológica requiere la mayor diversidad de perspectivas para anticipar, planear, implementar, monitorear y evaluar los impactos de las decisiones en función de la sostenibilidad de la laguna.

Conclusiones

Esta investigación estudia interdisciplinaria y participativamente los cambios ambientales desde la socioecohidrología. A partir del estudio en la LGC se evidencia cómo es que los cambios asociados a la construcción de infraestructura hidráulica de tamaño menor, como los diques, pueden modificar la conectividad y los SE y DSE asociados. El estudio se llevó a cabo a partir del análisis del cambio hidrológico y de las percepciones de las causas, su magnitud y los efectos en los modos de vida.

A partir del análisis hidrológico se determinó que hubo 161 eventos del río Usumacinta que ya no conectaron con la LGC (~ 40 %). Esta desconexión es mucho más evidente durante el periodo de estiaje, cuando el caudal es menor, y aunque se presenten pulsos de inundación el agua no ingresa a la laguna porque los diques lo impiden. Integrar los conocimientos locales fue valioso, ya que no existe medición continua de niveles de inundación para la LGC y el análisis de conectividad se basa en un modelo hidrológico y el análisis de frecuencias de eventos sobre los que se tiene conocimiento. Ambas fuentes de información fueron consistentes respecto a los cambios en la conectividad.

Además de los diques, las omisiones gubernamentales (p. ej., la falta de plantas de tratamiento de agua y sistemas de manejo de residuos sólidos urbanos) y acciones locales asociadas a la sobreexplotación de recursos documentadas desde hace más de 20 años, destacan entre los principales impulsores del cambio que derivan en el declive de SE y en el incremento de DSE. Sin embargo, esta investigación documenta que muchos de estos cambios no tienen implicación en los modos de vida, excepto en casos concretos en los que se reportan impactos económicos. El estudio de los cambios en los

SE y DSE a través de la cascada de servicios ecosistémicos permite comprender la compleja interdependencia en el flujo de SE y su respuesta ante el represamiento de la laguna. Los resultados apuntan a la relevancia de abordar los cambios tanto de los SE y DSE para comprender mejor los desafíos y preocupaciones locales, así como las implicaciones para la gobernanza del sistema lagunar y los caudales ambientales.

La integración de fuentes de información y herramientas (análisis hidrológico, entrevistas, grupos focales, mapeo participativo, líneas de tiempo, líneas de tendencias) permitió comprender el dinamismo y la interdependencia entre el flujo de SE y DSE producto de la acumulación de impactos del manejo de la laguna y sus alrededores. Las percepciones locales son fuentes de información y evidencia muy valiosas para comprender el cambio ambiental y diseñar mejores estrategias de gobernanza y manejo sostenible del agua y el territorio.

Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del estado de Chiapas (SEMAHN), particularmente al equipo del Proyecto para la Conservación del Manatí en Catazajá por el apoyo logístico y moral, especialmente al ecólogo José Luis García y Anastacio (Tacho) Luna. Asimismo, a don Ramón (Moncho) Inurreta por compartir las fotografías históricas de la región, a Andrés Alejandro Mares Guerrero por la elaboración del mapa y a quienes apoyaron en la recolección de datos (encuestas y talleres): Anahí Gómez Sánchez, Tomasa Ponce Méndez y Andrea Carrillo Padilla. También agradecemos el apoyo recibido del Comité Científico del Observatorio de Sedimentos del Usumacinta a través del proyecto *Desde el aprovechamiento tradicional hacia la valorización integral de los sedimentos en la cuenca del río Usumacinta* (FONCICYT-290792), así como al grupo de monitoreo participativo de Catazajá para el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia *Ecohidrología para la sustentabilidad y gobernanza del agua y cuencas para el bien común* (PRONAI clave 318956). El anterior Consejo

Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología, ahora Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, otorgó a la segunda autora la beca No. 788901 para el programa de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, de cuyo proyecto de investigación se deriva esta publicación.

Referencias

- Arthington, Angela H.; Bhaduri, Anik; Bunn, Stuart E.; Jackson, Sue E.; Tharme, Rebecca E.; Tickner, Dave; Young, Bill; Acreman, Mike; Baker, Natalie; Capon, Samantha; Horne, Avril C.; Kendy, Eloise; McClain, Michael E.; Poff, N. LeRoy; Richter, Brian D., y Ward, Selina (2018). "The Brisbane Declaration on Environmental Flows (2018)". *Frontiers in Environmental Science*, 6, pp. 1-15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045>
- Arthington, Angela H.; Tickner, David; McClain, Michael E.; Acreman, Mike C.; Anderson, Elizabeth P.; Babu, Suresh; Dickens, Chris; Horne, Avril C.; Kaushal, Nitin; Monk, Wendy A.; O'Brien, Gordon C.; Olden, Julian D.; Opperman, Jeffrey J.; Owusu, Afua G.; Poff, N. LeRoy; Richter, Brian D.; Salinas-Rodríguez, Sergio A.; Shamboko Mbale, Beauty; Tharme, Rebecca E., y Yarnell, Sarah M. (2023). "Accelerating Environmental Flow Implementation to Bend the Curve of Global Freshwater Biodiversity Loss". *Environmental Reviews*, 32(3), pp. 387-413. <https://doi.org/10.1139/er-2022-0126>
- Barba Macías, Everardo; Infante Mata, Dulce; Neri Flores, Iris; Juárez Flores, Juan; García Alfaro, José Rubén; Madero Vega, Carolina; Trinidad Ocaña, Cinthia; Rincón Pérez, Alonso; Miranda Vidal, Francisco; Nava López, Mariana Zareth, y Sánchez Navarro, Rafael (2018). *Documento de evaluación de caudal ecológico (DECE) del río Usumacinta*. Villahermosa, Tabasco, México: El Colegio de la Frontera Sur/Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)/Banco Interamericano de Desarrollo (BID)/Alianza del Fondo Mundial para la Naturaleza y la Fundación Gonzalo Río Arronte (WWF-FGRA), 352 pp.
- Blanco, Julien; Dendoncker, Nicolas; Barnaud, Cécile,

- y Sirami, Clélia (2019). "Ecosystem Disservices Matter: Towards their Systematic Integration within Ecosystem Service Research and Policy". *Ecosystem Services*, 36, pp. 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100913>
- Brauman, Kate (2015). "Hydrologic Ecosystem Services: Linking Ecohydrologic Processes to Human Well-Being in Water Research and Watershed Management". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), pp. 1-15. <https://doi.org/10.1002/wat2.1081>
- Bunn, Stuart y Arthington, Angela (2002). "Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Deflation Basin Lakes". *Environmental Management*, 30, pp. 492-507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>
- Cabello, Violeta; Willaarts, Barbara; Aguilar, Alba Mónica, y del Moral, Leandro (2015). "River Basins as Social-Ecological Systems: Linking Levels of Societal and Ecosystem Water Metabolism in a Semiarid Watershed". *Ecology and Society*, 20(3), pp. 1-20. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07778-200320>
- Grill, Günther; Lehner, Bernhard; Thieme, Michele; Geenen, Bart; Tickner, Dave; Antonelli, Francesca; Babu, Sudarsanam; Borrelli, Pasquale; Cheng, Lin; Crochetiere, Heather; Macedo, Ehalt Heloisa; Filgueiras, Raquel; Goichot, Marc; Higgins, Jonathan; Hogan, Zeb; Lip, Belinda; McClain, Michael E.; Meng, Jian-Jua.; Mulligan, Mark; Nilsson, Christer; Olden, Julian D; Opperman, Jeffrey, J.; Petry, Paulo; Reidy Lierman, Cathy; Saénz, Leonardo; Salinas-Rodríguez, Sergio; Schelle, Patricia; Schmitt, Rafael J. P.; Snider, James; Tan, Florence; Tockner, Klement; Valdujo, Paula H.; Soesbergen, Arnout van, y Zarfl, Christiane (2019). "Mapping the World's Free-Flowing Rivers". *Nature*, 569, pp. 215-221. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>
- Haines-Young, Roy y Potschin-Young, Marion (2010). "The Links between biodiversity, ecosystem services and human well-being". En David G. Raffaelli y Christopher L. J. Frid (eds.), *Ecosystem Ecology: A New Synthesis*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, pp. 110-139. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511750458.007>
- IDESMAC (Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica A.C.) (2004). *Ordenamiento ecológico del territorio para el municipio de Catazaja, Chiapas*. Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica A.C. <https://idesmac.net/publicaciones2/wp-content/uploads/2025/06/Ordenamiento-Ecologico-del-Territorio-para-el-Municipio-de-Catazaja-Chiapas.pdf>
- Instituto de Historia Natural y Ecología (2006). *Estudio técnico justificativo para decretar como Área Natural Protegida la zona conocida como humedales La Libertad en el municipio de La Libertad, Chiapas*. Instituto de Historia Natural y Ecología, Gobierno del Estado de Chiapas. https://sistemaestatalambiental.chiapas.gob.mx/siseiach/descargas/etj_anp/ETJLALIBERTAD.pdf
- Jackson, Sue; Anderson, Elizabeth; Piland, Natalia; Carriere, Solomon; Java, Lilia, y Jardine, Tim (2022). "River Rhythmicity: A Conceptual Means of Understanding and Leveraging the Relational Values of Rivers". *People and Nature*, 4(4), pp. 949-962. <https://doi.org/10.1002/pan3.10335>
- La Convención sobre los Humedales (2023). "México". *Ramsar*. <https://www.ramsar.org/es/country-profile/mexico>
- Lyytimäki, Jari (2014). "Bad Nature: Newspaper Representations of Ecosystem Disservices". *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), pp. 418-424. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.04.005>
- Márquez-García, Leonid I. y Expósito-Díaz, Gilberto (2018). *Trabajos de campo relacionados con la hidráulica y arrastre de sedimentos en tres sitios del río Usumacinta*. México: Centro de Estudios Geomáticos Ambientales y Marinos/ CONAGUA/Banco Interamericano de Desarrollo (BID)/Alianza del Fondo Mundial para la Naturaleza y la Fundación Gonzalo Río Arronte (WWF-FGRA), 70 pp.
- Mitsch, William J. y Gosselink, James G. (2015). *Wetlands*. Nueva Jersey, EUA: Wiley, 736 pp.
- Mussehl, Meghan L.; Horne, Avril C.; Webb, J. Angus, y Poff, N. LeRoy (2022). "Purposeful Stakeholder Engagement for Improved Environmental Flow Outcomes". *Frontiers in Environmental Science*, 9, pp. 1-18. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.749864>
- Nyangoko, Baraka P.; Berg, Håkan; Mangora, Mwita M.; Gullström, Martin, y Shalli, Mwanahija S. (2021).

- “Community Perceptions of Mangrove Ecosystem Services and Their Determinants in the Rufiji Delta, Tanzania”. *Sustainability*, 13(1), pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/su13010063>
- Nyangoko, Baraka P.; Berg, Håkan; Mangora, Mwita M.; Shalli, Mwanahija S., y Gullström Martin (2022). “Local Perceptions of Changes in Mangrove Ecosystem Services and their Implications for Livelihoods and Management in the Rufiji Delta, Tanzania”. *Ocean & Coastal Management*, 219, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106065>
- Oteros-Rozas, Elisa; Martín-López, Berta; González, José; Plieninger, Tobias; López-Santiago, César, y Montes, Carlos (2014). “Socio-Cultural Valuation of Ecosystem Services in a Transhumance Social-Ecological Network”. *Regional Environmental Change*, 14(4), pp. 1269-1289. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0571-y>
- Palomo, Ignacio; Felipe-Lucia, María R.; Bennett Elena, M.; Martín-López, Berta, y Pascual, Unai (2016). “Disentangling the Pathways and Effects of Ecosystem Service Co-Production”. En Guy Woodward y David Bohan (eds.), *Advances in Ecological Research*. Londres, Inglaterra: Academic Press, pp. 245-283. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.09.003>
- Poff, N. LeRoy (2019). “A River that Flows Free Connects up in 4D”. *Nature*, 569, pp. 201-202. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-01393-2>
- Reyes-Barrón, María Cristina; Llanos-Hernández, Luis, y Arreola-Muñoz, Arturo V. (2017) “Social Networks and Actors in the Reconfiguration of Territory in the Municipality of Catazajá, Chiapas”. *Revista de Geografía Agrícola*, 59, pp. 35-53. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2017.59.005>
- Saïdi, Nada y Spray, Chris (2018). “Ecosystem Services Bundles: Challenges and Opportunities for Implementation and Further Research”. *Environmental Research Letters*, 13(11), pp. 1-27. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae5e0>
- Salinas-Rodríguez, Sergio A.; Barba-Macías, Everardo; Infante Mata, Dulce; Nava-López, Mariana Zareth; Neri-Flores, Iris; Domínguez Varela, Ricardo, y González Mora Ignacio D. (2021). “What Do Environmental Flows Mean for Long-Term Freshwater Ecosystems’ Protection? Assessment of the Mexican Water Reserves for the Environment Program”. *Sustainability*, 13(3), pp. 1-28. <https://doi.org/10.3390/su13031240>
- Salinas-Rodríguez, Sergio A.; Cueva-Rodríguez, Alejandro H.; Castillo Uzcanga, M. Mercedes; Jarquín Sánchez, Aarón; Rodríguez Bastarmérito, Roberto, y Ramos Reyes, Rodimiro (2025). *Monitoreo remoto-digital de caudales ecológicos para la gestión del agua: análisis y modelación ecohidrológica*. Villahermosa, Tabasco, México: Alianza del Fondo Mundial para la Naturaleza y la Fundación Gonzalo Río Arronte (WWF-FGRA)/El Colegio de la Frontera Sur, 111 pp. <https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/2845>
- Salinas-Rodríguez, Sergio A.; Sánchez-Navarro, Rafael, y Barrios-Ordóñez, J. Eugenio (2020). “Frequency of Occurrence of Flow Regime Components: A Hydrology-Based Approach for Environmental Flow Assessments and Water Allocation for the Environment”. *Hydrological Sciences Journal*, 66(2), pp. 193-213. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1849705>
- Secretaría de Economía (2012). *Norma Mexicana NMX-AA-159-2012 Que Establece el Procedimiento para la Determinación del Caudal Ecológico en Cuencas Hidrológicas*. Diario Oficial de la Federación. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>
- Secretaría de Economía (2026). “Data México”. *Secretaría de Economía* <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/catazaja>
- Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda (2010). *Programa de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica ‘Sistema Lagunar de Catazajá’*. Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda/Subsecretaría de Medio Ambiente. https://sistemaestatalambiental.chiapas.gob.mx/siseiach/descargas/pm_anp/Programa_de_Manejo_del_Sistema_Lagunar_Catazajá_2010.pdf
- Shackleton, Charlie; Ruwanza, Sheunesu; Sinasson, Gisele; Bennett, S.; Lacy, Paul; Modipa, R.; Mtati, Nosiseko; Dalu, Mwazvita, y Thondhlana Gladman (2016). “Unpacking Pandora’s Box: Understanding and Categorising Ecosystem Disservices for Environmental Management and Human Wellbeing”. *Ecosystems*, 19, pp. 587-600. <https://doi.org/10.1007/>

[s10021-015-9952-z](#)

Spake, Rebecca; Lasseur, Rémy; Crouzat, Emilie; Bullock, James M.; Lavorel, Sandra; Parks, Katherine E.; Schaafsma, Marije; Bennett, Elena M.; Maes, Joachim; Mulligan, Mark; Mouchet, Maud; Peterson, Garry D.; Schulp, Catharina J. E.; Thuiller, Wilfried; Turner, Monica G.; Verburg, Peter H., y Eigenbrod, Felix (2017). "Unpacking Ecosystem Service Bundles: Towards Predictive Mapping of Synergies and Trade-Offs Between Ecosystem Services". *Global Environmental Change*, 47, pp. 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.08.004>

Tengö, Maria; Brondizio, Eduardo S.; Elmqvist, Thomas; Malmer, Pernilla, y Spierenburg, Marja (2014). "Connecting Diverse Knowledge Systems for

Enhanced Ecosystem Governance: The Multiple Evidence Base Approach". *Ambio*, 43, pp. 579-591.

<https://doi.org/10.1007/s13280-014-0501-3>

Tusznio, Joanna; Pietrzyk-Kaszyńska, Agata; Rechciński, Marcin; Olszańska, Agnieszka, y Grodzińska-Jurczak, Małgorzata (2020). "Application of the Ecosystem Services Concept at the Local Level – Challenges, Opportunities, and Limitations". *Ecosystem Services*, 42, pp. 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101077>

Von der Gracht, Heiko A. (2012). "Consensus Measurement in Delphi Studies: Review and Implications for Future Quality Assurance". *Technological Forecasting and Social Change*, 79(8), pp. 1525-1536. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>

Semblanzas completas

Claudia Monzón Alvarado. Doctorado en Geografía por la Universidad de Florida, Gainesville, Florida, EUA. Investigadora por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, adscrita al Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, México. Líneas de interés: gobernanza en sistemas socioecológicos.

Itzel Edith Conde Campeán. Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural por El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, México. Profesionista e investigadora independiente. Líneas de interés: estudios socioambientales y socioecohidrología.

Dulce María Infante Mata. Doctora en Ciencias en Ecología y Manejo de Recursos Naturales por el Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Veracruz, México. Investigadora adscrita al Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Tapachula, Chiapas, México. Líneas de interés: delimitación de dunas costeras y humedales, restauración, reforestación y la evaluación de la calidad ambiental y funcionamiento de los ecosistemas costeros.

Sergio Salinas Rodríguez. Doctorado en Recursos Hídricos por la Delft University of Technology, Países Bajos. Investigador adscrito al Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa, Tabasco, México. Líneas de interés: ciencia y práctica ambiental del agua tanto a escala de sitio y paisaje como regional y nacional.