



Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



FOLUR
Food Systems • Land Use • Restoration

Apoyado por



Implementado por



BANCO MUNDIAL
BIRF • AIF

En colaboración con



FONDO MEXICANO
PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA, A.C.
INSTITUCIÓN PRIVADA



Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas

GUÍA METODOLÓGICA

2023



**PLAN DE ACCIÓN PARA EL MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS:
GUÍA METODOLÓGICA**

Primera edición, 2023.

DR © 2025, INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 4209
Col. Jardines en la Montaña, C.P.14210
Tlalpan, CDMX, México.

Teléfono 55 54 24 64 00
<https://www.gob.mx/inecc>

DIRECTORIO

Lic. Mariana Morales Hernández

Encargada del Despacho de la Dirección General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Lic. Eduardo Levi León García

Director de Servicios Ambientales Hidrológicos y Adaptación al Cambio Climático con Enfoque de Cuencas

Elaboración de la guía metodológica de los Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas:

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN)

Daniela Ávila-García- Oficial de Modelación Técnica

Diseño técnico-participativo, conceptual y metodológico
Modelación, análisis e integración de la información

Luis Enrique Hernández Salinas- Analista-Especialista Técnico

Modelación, análisis y recopilación de información temática
Elaboración del material cartográfico

Florencia Cicchini- Oficial de Género y Vulnerabilidad Social

Alvarado Velázquez- Consultora externa

Diseño del componente participativo
Recopilación y análisis de información socioeconómica

Ana Isabel Fernández Montes de Oca- Coordinadora de Manejo Integrado de Paisaje

Coordinación técnica del proyecto RÍOS

Sergio M. López Ramírez- Director de Manejo Sustentable

Coordinación operativa

Agradecimientos a las personas y actores institucionales que colaboraron en la elaboración o revisión de la guía metodológica:

Consejo de Cuenca Tuxpan al Jamapa; Daniel I. González Terrazas; Fondo de Conservación El Triunfo (FONCET); Fondo Golfo de México (FGM); Fondo Noroeste y Occidente (FONNOR) y a la Unidad Coordinadora Técnica (UCT) y Operativa (UCO) del proyecto CONECTA.



Portada: Ejido Loma Bonita, Municipio de Mapastepec, Chiapas, 2023. 📷 D. Ávila-García.

Forma de citar:

INECC-FMCN, 2023. Ávila-García, D.; Hernández, E.; Fernández-Montes de Oca, A.; Cicchini, F.; Alvarado, J. y López S. Guía metodológica para los Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas. Proyecto CONECTA. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) y Banco Mundial.

Este documento incluye figuras y material cartográfico elaborado por la Unidad Coordinadora Técnica del proyecto CONECTA (INECC-FMCN), excepto que se indique explícitamente lo contrario.

Este documento fue elaborado con financiamiento del Fondo Verde para el Clima (*Green Climate Fund / GCF*, por sus siglas en inglés) y del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (*Global Environment Facility GEF*, por sus siglas en inglés). Conectando la salud de las cuencas con la producción ganadera y agroforestal sostenible CONECTA (GEF Project ID: 10735). Banco Mundial, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) y Fondo de Conservación El Triunfo. CONECTA es parte de la red del Programa de Impacto de Sistemas Alimentarios, Uso de la Tierra y Restauración FOLUR (*Food Systems, Land Use and Restoration*, por sus siglas en inglés).

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresadas en este trabajo no reflejan necesariamente las opiniones del GCF, GEF, su Consejo o los gobiernos que representan. El GEF no garantiza la exactitud de los datos incluidos en este trabajo. Los límites, colores, denominaciones y otra información mostrada en cualquier mapa de este trabajo no implican ningún juicio por parte del GEF sobre el estatus legal de ningún territorio ni la aprobación o aceptación de dichos límites. Nada en este documento deberá constituir o considerarse como una limitación o renuncia a los privilegios e inmunidades del GEF, los cuales están específicamente reservados.



ÍNDICE

ACRÓNIMOS	8
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Objetivo de la guía metodológica	13
1.2. ¿A quién se dirige esta guía?	13
2. MARCO CONCEPTUAL	15
2.1. Crisis socio-ecológicas y servicios ecosistémicos	15
2.2. Planeación territorial con enfoque de cuenca	18
3. PLANES DE ACCIÓN PARA EL MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HÍDRICAS (PAMIC)	21
3.1. Objetivo general de los PAMIC	22
3.2. Objetivos específicos	22
3.3. Componentes metodológicos de los PAMIC	22
3.3.1. Componente técnico-científico	23
3.3.2. Componente participativo	24
3.4. Enfoque de género	29
3.5. Proceso de integración	29
ETAPA 1	
DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCES	30
Paso 1. Definir objetivos y alcances	30
Paso 2. Identificar los servicios ecosistémicos prioritarios	30
Paso 3. Identificar personas beneficiarias de los SE y su contexto socio-ecológico	31
Paso 4. Determinar las estrategias de intervención	37
Paso 5. Evaluar y seleccionar los modelos o herramientas más apropiadas para el análisis de los SE	37
ETAPA 2	
IMPLEMENTACIÓN, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN	41
Paso 6. Interpretación de los modelos e integración del proceso	41
6.1. Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST)	41
Paso 7. Caracterización biofísica y generación de línea base	42

7.1. Oferta o provisión de servicios ecosistémicos (SE)	42
7.1.1. Provisión de agua- Rendimiento hídrico anual y estacional	44
7.1.2. Transporte de sedimentos	46
7.1.3. Transporte y retención de nutrientes	47
7.1.4. Resumen de parámetros biofísicos (modelos InVEST)	48
7.1.5. Mapa de uso de suelo y vegetación (USV)	49
7.2. Demanda de servicios ecosistémicos (SE)	51
7.3. Conectividad hidrográfica	52
Paso 8. Elaborar escenarios para la evaluación de impactos futuros o alternativos	54
8.1. Escenarios de cambio climático	54
8.2. Escenarios de usos de suelo y vegetación	56
Paso 9. Reportar la incertidumbre y validar los modelos	59
Paso 10. Interpretar los resultados para la toma de decisiones, socialización, monitoreo, evaluación y seguimiento	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
GLOSARIO	70
REFERENCIAS	73
ANEXO 1. Primer taller participativo	80
ANEXO 2. Segundo taller participativo	87
ANEXO 3. Formatos de cuestionarios para la recopilación de información en campo	96
ANEXO 4. Análisis estadísticos	100
ANEXO 5. Geoprocesamiento y análisis de servicios ecosistémicos	101
ANEXO 6. Tablas biofísicas	104
ANEXO 7. Pruebas estadísticas	107

Acrónimos

ADVC	Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación
AGEB	Área Geoestadística Básica
AICAS	Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves
ANP	Área Natural Protegida
BM	Banco Mundial (<i>World Bank</i>)
CMIP	Proyecto de intercomparación de modelos acoplados (<i>Coupled Model Intercomparison Projects</i>)
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CN	Número de curva (<i>Curve Number</i>)
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONECTA	Proyecto “Conectando la salud de las cuencas con la producción ganadera y agroforestal sostenible”
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
FMCN	Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (<i>Global Environment Facility</i>)
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INECOL	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
INVEST	Valoración Integrada de los Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (<i>Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs</i>)
IPBES	Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (<i>Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i>)
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
MIP	Manejo Integrado del Paisaje

Acrónimos

MCG	Modelos de Circulación General
MDE	Modelo Digital de Elevación
NDR	Tasa de transporte de nutrientes (<i>Nutrient Delivery Ratio</i>)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OLLC	Organizaciones Locales Legalmente Constituidas
PAMIC	Plan de Acción de Manejo Integral de Cuencas Hídricas
PCA	Análisis de componentes principales (<i>Principal Component Analysis</i>)
PdG	Perspectiva de Género
PNH	Programa Nacional Hídrico
PHR	Programa Hídrico Regional
POELP	Programa de Ordenamiento Ecológico Local Participativo
PROCODES	Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible
PSA	Pago por Servicios Ambientales
RAN	Registro Agrario Nacional
REPDA	Registro Público de Derechos del Agua
RLA	Río La Antigua
RUSLE	Revisión de la Ecuación Universal sobre Pérdida de Suelos (<i>Revised Universal Soil Loss Equation</i>)
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SDR	Tasa de transporte de sedimentos (<i>Sediment Delivery Ratio</i>)
SE	Servicios ecosistémicos
SEH	Servicios Ecosistémicos Hidrológicos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIG	Sistema de Información Geográfica
SSP	Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (<i>Shared Socioeconomic Pathways</i>)
TESSA	Kit de herramientas para la evaluación de sitio de servicios ecosistémicos a escala de sitio (<i>Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment</i>)
UMAS	Unidades de manejo para la Conservación de la Vida Silvestre
UNIATMOS	Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas
USV	Usos de Suelo y Vegetación



1. Introducción

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) colaboran con aliados regionales (Fondo Golfo de México, FGM; Fondo de Conservación "El Triunfo", FONCET; Fondo Noroeste y Occidente, FONNOR), en la implementación del proyecto CONECTA "Conectando la salud de las cuencas con la producción ganadera y agroforestal sostenible" (2021-2026), que es financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) a través del Banco Mundial (BM). El objetivo de CONECTA es mejorar el manejo integrado del paisaje y promover prácticas productivas climáticamente inteligentes en 15 cuencas ganaderas y agroforestales en los estados de Chiapas, Chihuahua, Jalisco, y Veracruz (Fig. 1).

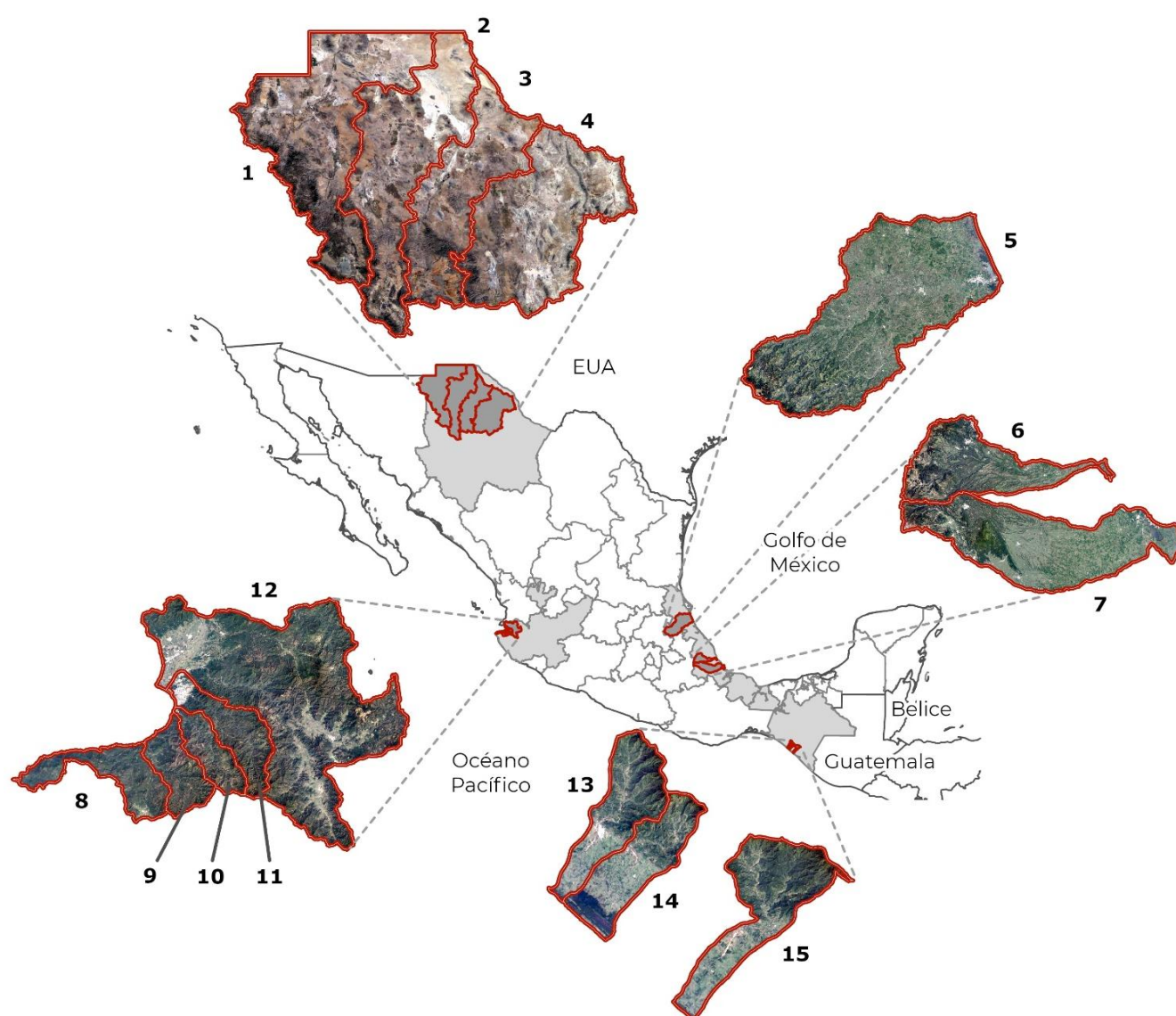


Fig. 1. Cuencas de incidencia en el marco del proyecto CONECTA. Chihuahua: 1) Casas Grandes; 2) Santa María; 3) Del Carmen; 4) El Carrizo y otros. Veracruz: 5) Tuxpan; 6) La Antigua; 7) Jamapa. Jalisco: 8) El Tuito; 9) Las Juntas; 10) Cuale; 11) Pitillal; 12) Ameca-Mascota. Chiapas: 13) Pijijiapan; 14) Coapa; 15) Novillero (INECC, 2022).

El proyecto CONECTA tiene cuatro componentes:

Componente 1: Desarrollo y promoción de un manejo integrado del paisaje.

Componente 2: Fortalecimiento de habilidades de negocio para ganadería y agroforestería sostenible.

Componente 3: Conservación, restauración e implementación de prácticas climáticamente inteligentes en paisajes ganaderos y agroforestales.

Componente 4: Coordinación del Proyecto, colaboración y gestión del conocimiento.

La base del manejo integrado del paisaje en CONECTA son los Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas (PAMIC). La primera propuesta de los PAMIC se diseñó para varias cuencas del país en el marco del proyecto C6 “Conservación de cuencas costeras en el contexto del cambio climático” (2014-2018), también financiado por el GEF a través del BM.

Considerando estos antecedentes, y con el objetivo de avanzar hacia una fase de consolidación y apropiación de este instrumento, dentro del marco del proyecto CONECTA se elaborarán los PAMIC en las cuencas ubicadas en Chiapas (Región Istmo-Costa) y en la región fronteriza de Chihuahua. Además, se actualizarán los PAMIC de las cuencas de Veracruz (La Antigua, Jamapa y Tuxpan) y Jalisco (Región Vallarta) con base en el diseño y la implementación de una metodología que contemple insumos de mayor resolución espacial, herramientas complementarias (p.ej. análisis de redes, técnicas de geoprocésamiento, índices y enfoques estadísticos) y la construcción participativa y con enfoque de género de escenarios futuros plausibles, sentando así las bases de una agenda ambiental sólida.

Los PAMIC representan una herramienta de diagnóstico, planeación y gestión del territorio para proponer el desarrollo a corto y largo plazo de acciones prioritarias de conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas, considerando un enfoque sistémico a nivel de cuenca hidrográfica. El logro de estos objetivos se sustenta en la identificación y análisis de las características socio-ecológicas e interconexiones entre las unidades territoriales (subcuencas) con base en la relación de oferta (provisión) y demanda (personas usuarias o beneficiarias) de servicios ecosistémicos (SE) relevantes. Además, se incorporan de manera integral los escenarios de cambio climático y las potenciales modificaciones del uso de suelo y vegetación.

Con estas herramientas se busca transformar la visión fragmentada o sectorial de intervención en el territorio para trabajar con unidades de gestión territoriales de manera integral, tener una visión a largo plazo, alinear los programas de políticas públicas para optimizar inversiones, así como incorporar la información disponible vinculada con las proyecciones de cambios potenciales en la planeación de las cuencas hidrográficas.

En resumen, los PAMIC representan un avance importante en la planeación territorial, ya que no solo consideran las relaciones al interior cada una de las unidades de gestión, sino también las interconexiones geográficas entre distintas unidades. Este enfoque promueve un modelo dinámico e integral que analiza un sistema territorial complejo con base en sus dimensiones geográficas, biológicas, económicas y sociales; lo que permite identificar las posibles externalidades (tanto positivas como negativas) en el bienestar humano y de nuestros ecosistemas. Todo esto con el objetivo de fortalecer la gestión sostenible basada en una planificación más informada y responsable de las cuencas de nuestro país.

El proceso de actualización de la guía metodológica de los PAMIC incorpora una descripción detallada de los pasos propuestos para llevar a cabo una evaluación de la oferta y la demanda de servicios ecosistémicos a nivel de cuenca y subcuenca. Además, se incluyen materiales cartográficos de mayor resolución, enfoques estadísticos y de redes para evaluar los impactos potenciales, la configuración hidrográfica y la vinculación institucional. En esta versión también se fortalece el componente participativo y se actualizan los escenarios de cambio climático con base en las proyecciones publicadas en el Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

La guía metodológica comienza con un marco conceptual que describe los elementos básicos de los SE y la planeación territorial con enfoque de cuenca. Posteriormente, se describen cada uno de los pasos metodológicos para la elaboración de los PAMIC en las cuencas de estudio. Por último, esta guía describe un proceso metodológico práctico con la finalidad de que se pueda replicar o complementar con otros enfoques o herramientas de análisis adaptadas a las características específicas de cada cuenca (p.ej. valoración económica de SE o estudios de agua subterránea en cuencas áridas o semiáridas).

1.1. Objetivo de la guía metodológica

El objetivo general de esta guía metodológica actualizada para la elaboración de los PAMIC es proporcionar criterios para el planteamiento, selección, análisis y aplicación de herramientas y enfoques adecuados para la focalización de acciones orientadas a conservar, restaurar y aprovechar sustentablemente los elementos que intervienen en la provisión y mantenimiento de SE relevantes para la funcionalidad y gestión integral de las cuencas en México.

1.2. ¿A quién se dirige esta guía?

Esta guía es una herramienta que permitirá que las personas técnicas-especialistas y las autoridades institucionales de los tres órdenes de gobierno dedicados a la planificación territorial en México, cuenten con métodos de análisis de los sistemas eco-hidrológicos, fortaleciendo el marco de una

visión integral y sostenible, que facilite la aplicación de los PAMIC de manera adecuada en sus respectivas áreas de competencia.

La inclusión de diferentes personas usuarias facilita la implementación de un adecuado esquema de manejo para las cuencas de intervención. Por lo tanto, esta guía también está dirigida a las personas interesadas que residen en las cuencas de intervención, los cuales comprenden desde la población urbana y rural, productores(as), representantes de organizaciones de la sociedad civil hasta miembros del sector académico e inversionistas privados (comerciantes y empresarios/as), que usan o requieren utilizar herramientas de evaluación de SE con la finalidad de tomar decisiones sobre proyectos de conservación, restauración, infraestructura natural o priorización territorial. Asimismo, promueve que las personas que no son especialistas en modelación o evaluación de SE se puedan involucrar en los aspectos técnicos-analíticos, como parte de un proceso integral en un contexto específico de toma de decisiones.

Guía metodológica para la elaboración de los Planes de Acción de Manejo Integral de Cuencas hídricas (PAMIC)

2. Marco conceptual

2.1. Crisis socio-ecológicas y servicios ecosistémicos

El enfoque de sistemas socio-ecológicos considera una estructura de variables sociales y ambientales relacionadas a los recursos que son necesarios para la vida humana, reconociendo las interacciones en un espacio determinado y en torno a un problema ecológico (Urquiza Gómez y Cadenas, 2015). Considerando estas relaciones, el concepto de servicios ecosistémicos es adecuado para *“entender los vínculos de interdependencia entre las sociedades que los demandan en función de su bienestar y el funcionamiento de los ecosistemas, como proveedores de manera directa o indirecta”* (Caro-Caro y Torres-Mora, 2015) en el análisis de los sistemas socio-ecológicos.

Los ecosistemas nos proveen de diferentes beneficios directos e indirectos, definidos como servicios ecosistémicos (SE), que son fundamentales para el bienestar humano (MEA, 2005; TEEB, 2010). De acuerdo con un marco conceptual complementario de la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES; Díaz et al., 2018), los servicios ecosistémicos también se pueden entender como todas aquellas contribuciones, tanto positivas como negativas, derivadas de los sistemas naturales (p.ej. la diversidad de organismos, ecosistemas y sus procesos evolutivos y ecológicos asociados) que tienen efectos en la calidad de vida de las personas.

En los marcos normativos de México, la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA; DOF, 1988) define a los servicios ambientales como *“los beneficios tangibles e intangibles, generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, y para que proporcionen beneficios al ser humano”*. Algunos de estos beneficios o contribuciones de la naturaleza hacia las personas incluyen la provisión y calidad del agua, el control de inundaciones, la provisión de alimentos, la captura de carbono, la retención de nutrientes y el control de la erosión (Koetse et al., 2018; Maes et al., 2013).

La disminución generalizada y acelerada de la biodiversidad y de los sistemas de soporte vitales para nuestro planeta, amenazan el funcionamiento de los ecosistemas y, a su vez, el suministro de los SE, tanto para las generaciones presentes como futuras (de Groot et al., 2012). De acuerdo con la evaluación global del IPBES (2019), la capacidad de la naturaleza para promover el bienestar humano se ve principalmente amenazada por los cambios en el uso de la tierra y el mar, la explotación directa de organismos, el cambio climático, la contaminación y las especies exóticas invasoras.

Particularmente, los recursos hídricos son sensibles a los cambios del paisaje y se han modificado significativamente en todo el mundo debido al cambio intensivo y extensivo de los usos de suelo y vegetación (USV) (IPBES, 2019; Jujnovsky et al., 2017). Estos cambios de USV pueden inducir fuertes impactos en los procesos que respaldan a varios SE, como la regulación, el suministro y el almacenamiento del agua (Ávila-García et al., 2020; Martínez-Retureta et al., 2020).

El crecimiento demográfico, la expansión agrícola y urbana, y la sobreexplotación como consecuencia del desarrollo económico, también han provocado que la degradación y pérdida de los ecosistemas acuáticos y su biodiversidad, se esté produciendo con mayor rapidez que la de cualquier otro ecosistema (Aznar-Sánchez et al., 2019). Además, el cambio climático global podría causar alteraciones como sequías de largo plazo, eventos extremos de precipitación y desequilibrios en la disponibilidad de agua (Anderson et al., 2011).

De esta forma, el cambio climático, los cambios de USV y la sobreexplotación de los recursos naturales han aumentado la necesidad de integrar políticas de desarrollo sostenible tanto a nivel nacional como internacional para adaptarse a las demandas de una población en crecimiento (Colglazier, 2015). La magnitud de las actuales crisis socio-ecológicas requieren un cambio transformador urgente en la toma de decisiones públicas y en los procesos de planificación para revertir o disminuir las tendencias actuales y catalizar rutas hacia futuros más sostenibles (Díaz et al., 2019; Rana et al., 2020). Ante esta situación, diferentes países, incluido México, se han comprometido a tomar acciones relacionadas con la conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas para el mantenimiento y mejora de los ecosistemas y sus servicios (CBD, 2010; ONU, 2021).

El estudio de los SE es complejo y representa un gran reto debido a los múltiples factores ecológicos y socio-económicos, así como de su interacción a diferentes escalas (Balvanera and Cotler, 2007). Afortunadamente, en las últimas décadas, la investigación en la evaluación de los SE ha avanzado rápidamente debido a su utilidad para hacer explícitos los vínculos entre los ecosistemas y el bienestar humano (Grêt-Regamey et al., 2017; Nicholson et al., 2009).

De acuerdo con lo anterior, los PAMIC incorporan el concepto de SE con base en la integración, modelación y análisis de aspectos biofísicos (oferta o provisión de SE) y socio-económicos (demanda de SE por parte de los usuarios o beneficiarios) para construir un marco conceptual cuyo objetivo es apoyar el desarrollo de intervenciones, políticas o esquemas de gestión que integren los siguientes elementos en la toma de decisiones con base en un enfoque de cuenca hidrográfica (Fig. 2):

- 1) El funcionamiento de los ecosistemas y sus SE.
- 2) Los impactos potenciales tanto positivos como negativos derivados de las dinámicas socio-económicas.
- 3) Amenazas o presiones potenciales presentes y futuras, como el cambio climático y los cambios de uso de suelo y vegetación (USV).

Este marco conceptual permite vincular las funciones de producción con los beneficios proporcionados a las personas. La oferta o provisión de SE representa lo que potencialmente está disponible a partir de la estructura, procesos biofísicos y funciones de los ecosistemas (p.ej. la provisión de agua en cantidad y calidad). Dentro del marco de los PAMIC, los SE incorporan la demanda o uso por parte de personas usuarias o beneficiarias que se distribuyen en las cuencas, mientras que la valoración, incluye la preferencia o percepción social para el cálculo de métricas en términos de aumento o disminución de los SE (p.ej. mayor cantidad de agua, menores tasas de erosión o transporte de nutrientes), considerando la incorporación de escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo y vegetación.

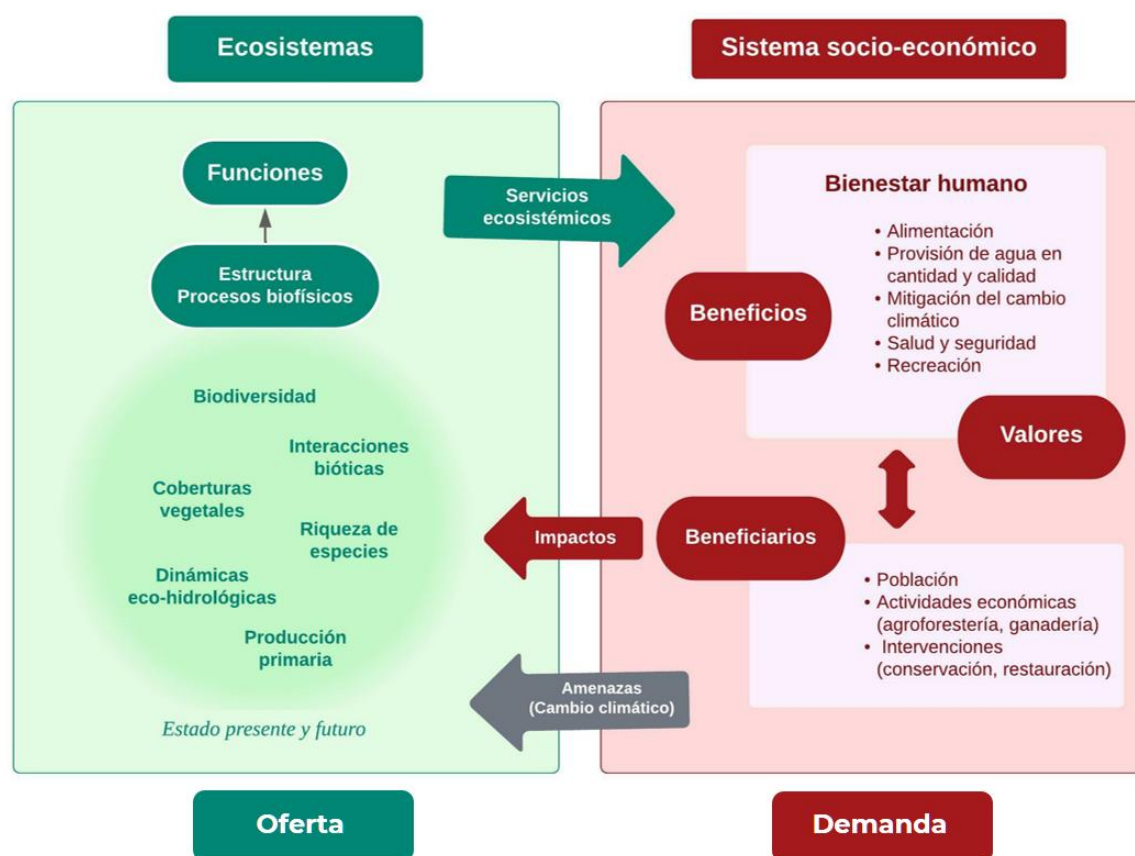


Fig. 2. Marco conceptual para el análisis y evaluación de servicios ecosistémicos de los PAMIC. Adaptado de Potschin & Haines-Young (2011); Maes et al. (2013).

2.2. Planeación territorial con enfoque de cuenca

Las cuencas hidrográficas son unidades territoriales, definidas por la división natural de las aguas superficiales debido a la conformación del relieve y la topografía (SEMARNAT-CONAGUA, 2018). En términos territoriales las cuencas constituyen sistemas complejos, donde se reconocen los vínculos entre una variedad de componentes, niveles jerárquicos y una alta intensidad de interconexiones (Balvanera and Cotler, 2007).

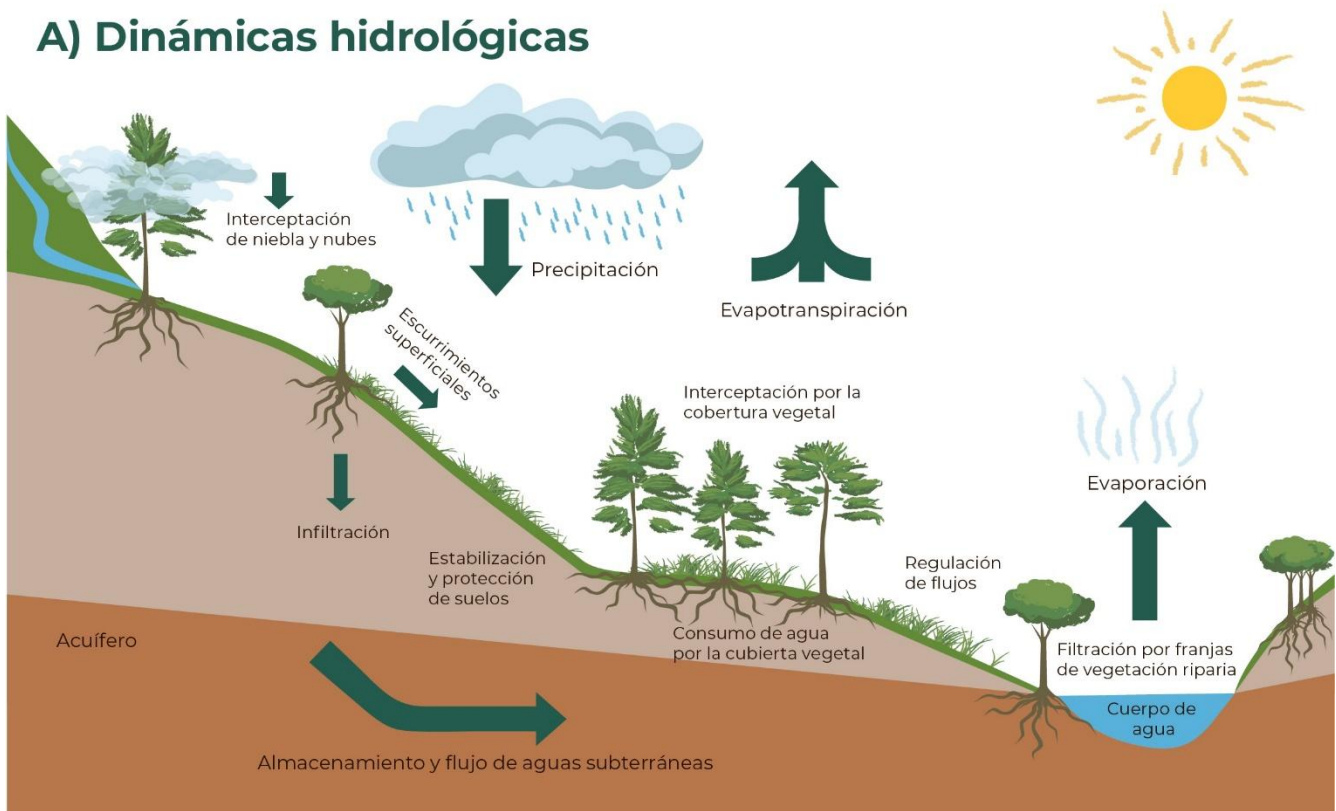
El enfoque de cuenca en el manejo y planeación territorial, promueve la integración de los actores involucrados en una problemática común, en lugar de atender problemas sectoriales dispersos, evitando una visión fragmentada o sectorial de intervención en el territorio. Estas intervenciones varían en el tiempo y están en función del aprendizaje que se obtiene de las acciones realizadas sobre los ecosistemas, del control de las externalidades y de los diversos intereses de los actores (Cotler, 2007).

Actualmente, se reconocen tres grandes sistemas de clasificación internacional de SE disponibles para sistematizar, evaluar y comparar los resultados de las evaluaciones y el mapeo (Maes et al., 2013): *The Millennial Ecosystem Assessment* (MEA, 2005) proporcionó el primer marco conceptual para la evaluación de ecosistemas a gran escala, que luego fue adoptada y detallada por *The Economics of Ecosystem and Biodiversity* (TEEB, 2010) y *the Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES), (CICES, Haines-Young y Potschin, 2018). En general, todas estas clasificaciones incluyen SE de abastecimiento, regulación y culturales, la mayoría de los cuales están conectados con el ciclo hidrológico a escala de cuenca (Fig. 3).

En este sentido, los SE derivados de procesos que ocurren dentro de los límites fisiográficos de una cuenca hidrográfica se centran cada vez más en la integración de la gestión del paisaje y los recursos hídricos (Hamel et al., 2018). Las cuencas hidrográficas como unidades funcionales de los ecosistemas permiten analizar los procesos socio-ecológicos locales para identificar áreas relevantes con SE valorados por los actores o beneficiarios y donde los cuerpos de agua como ríos o lagos juegan un papel importante en el bienestar humano y el funcionamiento de los ecosistemas (Comín et al. al., 2018). Además, su estructura jerárquica anidada en subcuencas o microcuencas con límites definidos por el parteaguas geográfico, permite un monitoreo más eficiente, lo cual es indispensable para la implementación de un manejo adaptativo y un principio precautorio (Mass, 2012).

Las cuencas hidrográficas son, por lo tanto, un enfoque adecuado para el manejo sustentable de socioecosistemas y la investigación transdisciplinaria, donde los procesos biofísicos y sociales pueden analizarse en conjunto.

A) Dinámicas hidrológicas



B) Servicios ecosistémicos

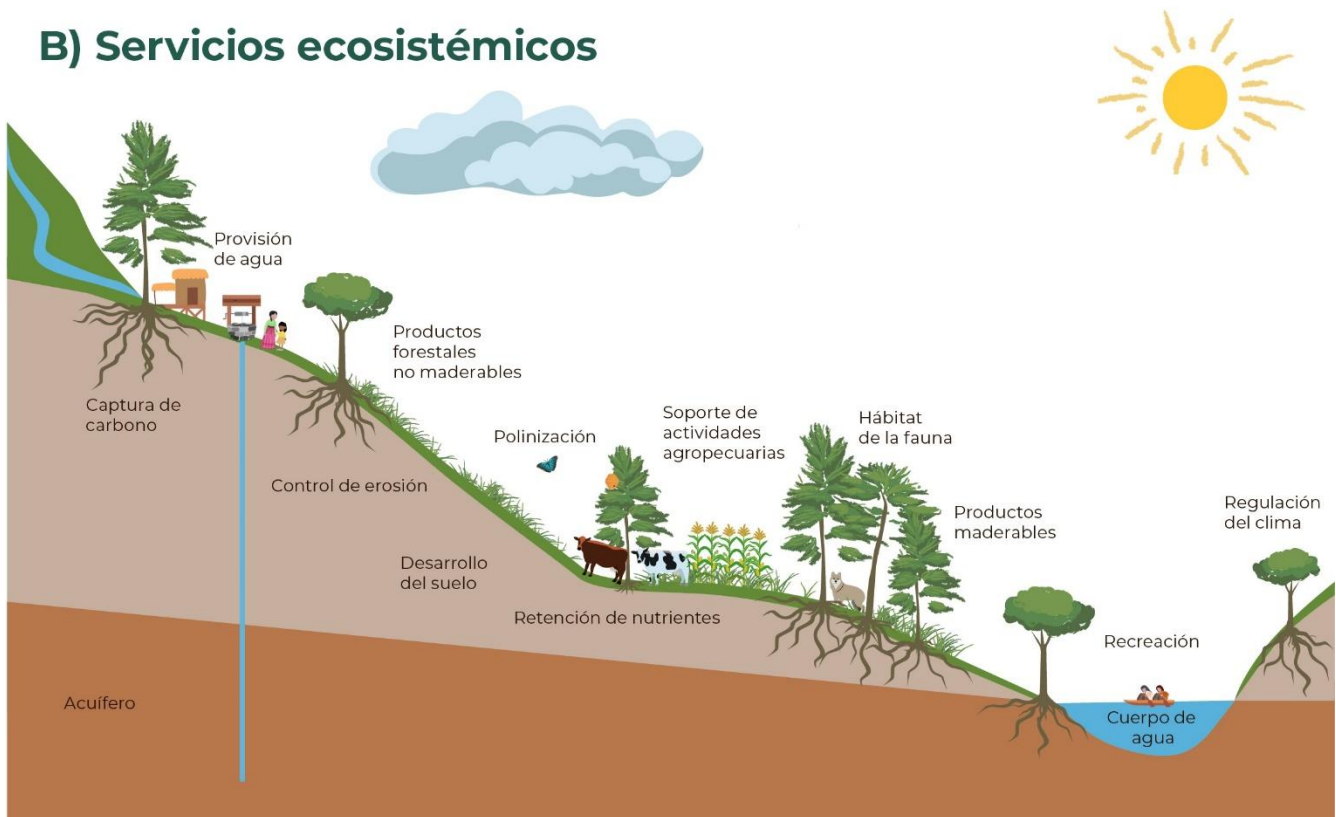


Fig. 3. A) Dinámicas hidrológicas; y B) servicios ecosistémicos a nivel de cuenca. Adaptado de Brauman et al., (2007) y Ochoa-Tocachi et al., (2022).

Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas Hídricas (PAMIC)

- Objetivos
- Componente técnico-científico
- Componente participativo
- Proceso de integración



3. Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas Hídricas (PAMIC)

Los PAMIC son un instrumento de diagnóstico, planeación y gestión del territorio con bases técnico-científicas que articula esfuerzos institucionales para proponer el desarrollo de acciones prioritarias de conservación, restauración y adecuación de prácticas; considerando un enfoque sistémico que vincula proyecciones de cambio climático y cambios potenciales de uso de suelo y vegetación a nivel de cuenca hidrográfica.

Los ordenamientos territoriales identifican unidades de gestión y analizan su dinámica interna para proponer políticas, criterios y estrategias de manejo, mientras que los PAMIC no solo consideran las relaciones al interior de cada una de las unidades de planeación, sino también su vinculación e interconexión asociada a la red de flujo superficial de las cuencas (Fig. 4).

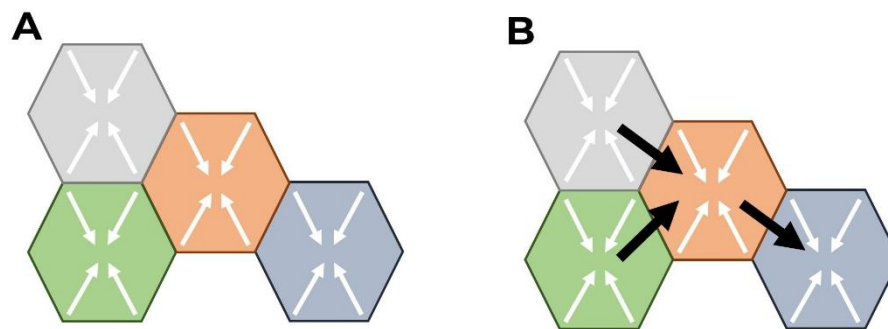


Fig. 4. Modelos conceptuales de los Ordenamientos Ecológicos Territoriales (OET) y los PAMIC. A) Modelo conceptual de la caracterización y análisis de las unidades de planeación de los OET considerando únicamente sus atributos internos (flechas blancas). B) Modelo conceptual de los PAMIC con base en el análisis de la vinculación e interconexión entre las unidades de planeación asociada a la red de flujo superficial de las cuencas (flechas negras).

Considerar a la cuenca como unidad de planeación y gestión, implica establecer canales de comunicación, coordinación y cooperación entre diversas entidades administrativas y de la sociedad civil. Este enfoque representa un reto en la transformación de los paradigmas actuales en la planeación, gestión y administración, tanto de los recursos naturales como económicos. Por consiguiente, la visión a largo plazo de los PAMIC es consolidarse como instrumentos de planeación vinculantes y complementarios a los ordenamientos territoriales. Lo que significa que, al igual que los ordenamientos, los PAMIC requieren de inversión y seguimiento continuo para su plena integración en las políticas públicas de México.

En resumen, los PAMIC son instrumentos operativos, prácticos y replicables, diseñados para fortalecer y solventar vacíos de los procesos de planeación territorial de las cuencas, en donde los recursos hídricos constituyen el eje articulador para enfocar estrategias sostenibles, salvaguardando los procesos socio-ecológicos de los que depende la funcionalidad de los ecosistemas y el bienestar de sus habitantes.

3.1. Objetivo general de los PAMIC

Fortalecer la gestión integral de las cuencas a través de la focalización de acciones orientadas a conservar, restaurar y aprovechar sustentablemente los elementos y bienes comunes que intervienen en la provisión y mantenimiento de SE relevantes para la funcionalidad del territorio.

3.2. Objetivos específicos

1. Describir y caracterizar la situación actual de la cuenca en términos biofísicos y socioeconómicos para su vinculación con instrumentos y programas de gestión.
2. Priorizar las subcuencas con base en el análisis de la oferta-demanda de SE en el contexto actual y futuro, considerando escenarios plausibles de cambio climático y cambios de uso de suelo y vegetación (USV).
3. Proponer y focalizar diferentes acciones de intervención que promuevan la conservación, la restauración o el aprovechamiento sustentable de los recursos en las subcuencas identificadas con la mayor oferta-demanda de SE.
4. Delinear las bases de una agenda ambiental encaminada a promover la corresponsabilidad territorial en el mantenimiento de SE, a través de la vinculación entre las características socio-ecológicas, los instrumentos o programas de gestión y la identificación espacial de sitios prioritarios.

3.3. Componentes metodológicos de los PAMIC

El proceso para la elaboración o actualización de los PAMIC se desarrolla con base en tres componentes o etapas: 1) componente técnico-científico (analítico-relacional); 2) componente participativo, y 3) proceso de integración para consolidar una agenda ambiental que permita plantear una estrategia de seguimiento y monitoreo en conjunto con los diferentes actores en el territorio (Fig. 5).

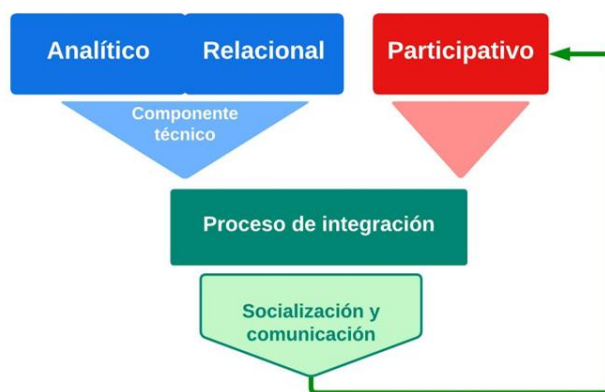


Fig. 5. Componentes de los PAMIC

3.3.1. Componente técnico-científico

El componente técnico (analítico-relacional) para la priorización territorial de los PAMIC se resume de la siguiente manera (Fig. 6):

- 1) Identificación de subcuencas con mayor y menor **provisión de servicios ecosistémicos (SE)**. La selección, análisis y modelación de los SE asociados con actividades agropecuarias y agroforestales se llevó a cabo con base en la relevancia percibida por parte de actores locales. Este proceso se consolida considerando los objetivos, alcances, recursos, datos, capacidades técnicas y el tiempo disponible. De esta forma, los SE seleccionados que se analizaron en los PAMIC con el uso de la herramienta InVEST - *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (Sharp et al., 2018) son: la provisión de agua, la retención de nutrientes (nitrógeno-N y fósforo-P) y el control de tasas de erosión.
- 2) Identificación de subcuencas con **mayor y menor demanda de SE** con base en el volumen extraído de agua superficial y subterránea (hm^3) y la densidad poblacional ($\text{habitantes}/\text{km}^2$). Además, se lleva a cabo una caracterización socio-económica de las personas usuarias o beneficiarias de los SE para construir de manera participativa una agenda ambiental que permita vincular la problemática socio-ecológica con los programas institucionales, reglas y acuerdos que inciden en el territorio.
- 3) Incorporación de **escenarios** de cambios de uso de suelo y cambio climático para el análisis de los impactos potenciales en términos de aumentos o disminuciones significativas en los SE seleccionados.
- 4) Integración de los resultados considerando la **conectividad hidrográfica** de las cuencas (identificación de subcuencas emisoras, emisoras-receptoras y receptoras) que permitan consolidar una propuesta de priorización territorial para la implementación de acciones de restauración, conservación y adecuación de prácticas productivas.

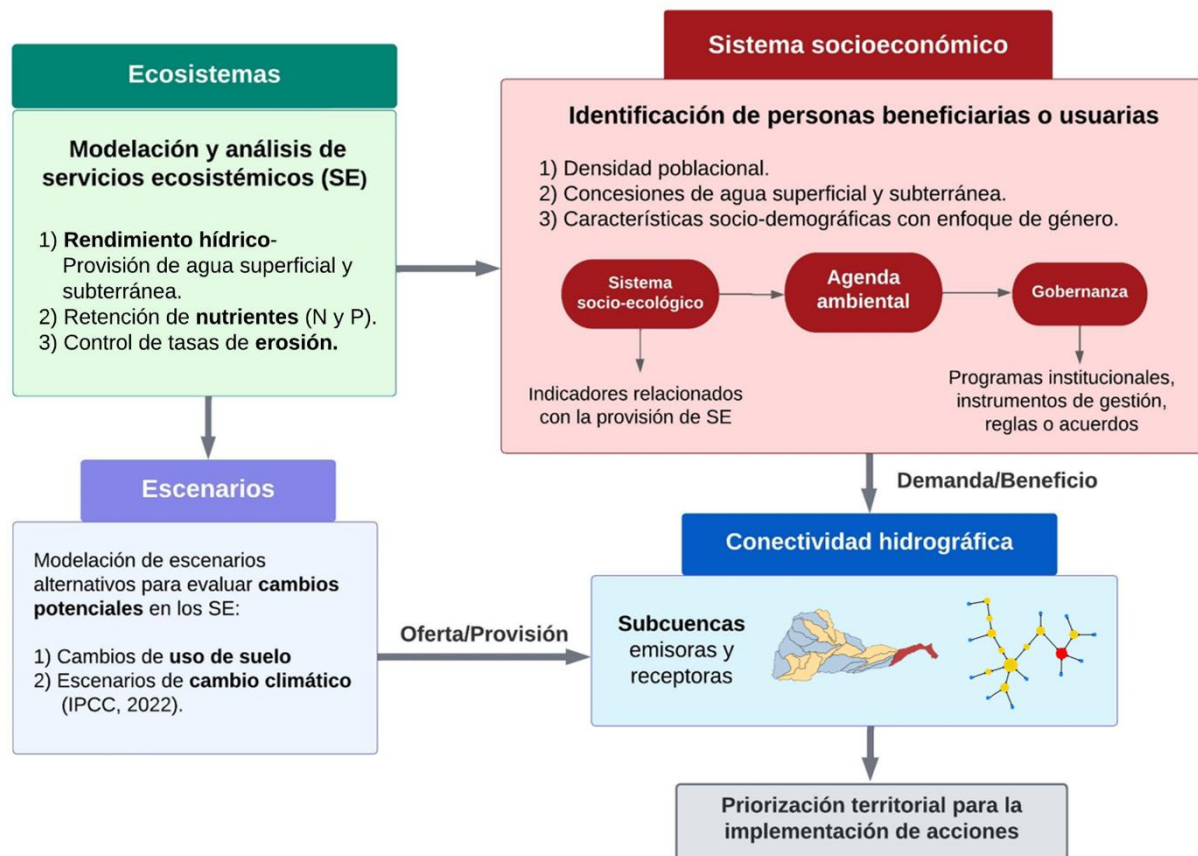


Fig. 6. Esquema conceptual del componente técnico de los PAMIC.

3.3.2. Componente participativo

El componente participativo para la elaboración de los PAMIC es el proceso mediante el cual se genera un espacio de intercambio y coproducción de conocimientos (Reed et al., 2018). Este componente representa un espacio que facilita la comunicación entre las personas usuarias o beneficiarias en las cuencas para conocer sus perspectivas relacionadas con los objetivos y el proceso de elaboración de los PAMIC. De esta forma, se busca promover la apropiación, seguimiento e implementación de esta herramienta, desde el inicio de su diseño y hasta su implementación en cada una de las cuencas.

El proceso de planeación e implementación de este componente participativo tiene como objetivo integrar la visión territorial de las comunidades, personas propietarias y otros actores clave, incorporando una perspectiva de género, intercultural e intergeneracional. Esto promueve la participación activa de las mujeres y la inclusión de aspectos técnicos relacionados con las interconexiones entre género, provisión y aprovechamiento de los SE. Por lo tanto, este componente se desarrolla a partir de diversas estrategias que pueden variar de acuerdo con cada uno de los

contextos territoriales (p. ej. visitas de campo, entrevistas a actores clave o grupos focales, talleres con personas interesadas o con incidencia en las cuencas de estudio).

Particularmente, en esta guía se proponen los siguientes pasos para promover y enfocar la participación en el proceso de elaboración de los PAMIC:

- **Paso 1:** Identificar a las personas usuarias o beneficiarias de los SE, incluyendo a los actores relevantes (p.ej. representantes de comunidades, grupos, instituciones, organizaciones) que podrían tener interés en el proyecto y que poseen información, experiencia o incidencia en la toma de decisiones vinculadas a la planeación territorial o al manejo sustentable de las cuencas. Las técnicas de mapeo de actores clave (Tapella, 2007) o bola de nieve (Taylor y Bogdan, 2000), en conjunto con análisis de redes sociales (Paniagua López, 2012) representan herramientas útiles para identificar patrones de comunicación y liderazgo que podrían catalizar acciones colectivas.
- **Paso 2:** Identificar el perfil de las personas participantes de acuerdo con el objetivo de los talleres, sesiones o entrevistas previstas a largo del proyecto considerando una representación diversa en términos de género, cultura y edad. El alcance y enfoque de estas estrategias participativas también deben considerar el contexto de cada cuenca (p. ej. área, seguridad en territorio, heterogeneidad de actores, actividades socioeconómicas, conflictos socio-ecológicos), el tiempo y los recursos (p.ej. número de personas facilitadoras, materiales digitales o impresos, disponibilidad de espacios o herramientas para el desarrollo de talleres virtuales o presenciales, desplazamientos para llevar a cabo visitas en el territorio).
- **Paso 3:** Utilizar los canales de difusión apropiados y culturalmente pertinentes para facilitar la difusión de la convocatoria. Esto implica la identificación de actores, grupos o instituciones clave que podrían maximizar la efectividad de la convocatoria. Además, es fundamental que se hagan explícitos los factores que influyen en las decisiones de muestreo (Valles, 2007). Por ejemplo, dependiendo del objetivo de cada estrategia de participación, se recomienda considerar los vínculos preexistentes entre los diferentes actores clave, la seguridad y disposición para desplazarse, así como los medios y los plazos disponibles para los procesos de difusión y participación.

De acuerdo con lo anterior, el desarrollo de los PAMIC contempla la implementación y adaptación de las siguientes estrategias de coproducción de conocimientos de acuerdo con los contextos territoriales (Figura 7): Dos talleres participativos que se complementan con entrevistas en territorio y, un proceso continuo de comunicación y difusión de los resultados. Las personas que participaron en estos espacios de intercambio y coproducción de conocimientos se identificaron durante la etapa

de planeación del proyecto CONECTA, considerando a las personas representantes de comunidades, grupos, instituciones u organizaciones interesadas o involucradas en el proyecto a nivel local y regional en cada una de las cuencas de intervención.

1) Primer taller- Diagnóstico socio-ecológico.

Objetivo: Identificar las presiones (actividades o eventos) con impactos potenciales en el suministro de SE.

Los resultados de este taller permiten detallar los usos de suelo y vegetación con base en un mapeo participativo, validar los SE que se consideran relevantes y, reflexionar con perspectiva de género en torno a los principales problemas socio-ecológicos y los impactos potenciales percibidos por las personas que residen en las cuencas.

Considerando el objetivo, la convocatoria está dirigida, principalmente, a actores con incidencia, experiencia o conocimiento del territorio. Por ejemplo, personas líderes a nivel comunitario o ejidal, representantes de sectores socioeconómicos y otros actores clave involucrados en procesos de planeación, ordenamiento territorial, gestión de recursos hídricos o manejo sustentable, incluyendo a personas especialistas-técnicas en proyectos de conservación o restauración con conocimiento de las cuencas de interés tanto del sector público como del privado (**Anexo 1**).

2) Segundo taller- Construcción participativa de escenarios plausibles.

Objetivo: Identificar y priorizar de forma participativa las actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas asociadas con los servicios ecosistémicos (SE) de las cuencas.

El diálogo, la información e intercambio de saberes en este taller es fundamental para la simulación de escenarios plausibles relacionados con los cambios de USV. La priorización de actividades también incluye la descripción de socios y aliados capaces de financiar o implementar las actividades de intervención, principales retos, alternativas y la ubicación de los sitios con mayor potencial para desarrollar o promover estas actividades (p. ej. municipios, localidades, ejidos, tipos de vegetación o cultivos).

Este taller busca fortalecer las sinergias entre actores institucionales clave en el marco de la planeación estratégica de las cuencas por lo que la convocatoria se dirige a representantes de instituciones públicas o privadas con objetivos alineados a los PAMIC (p. ej. Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares, funcionarios públicos en CONAFOR, CONANP, IMTA, SADER) (**Anexo 2**).

3) Proceso de difusión y comunicación de los resultados

Objetivo: Comunicar y difundir los principales resultados de los PAMIC para fortalecer su apropiación e implementación a diferentes niveles de intervención.

Esta última fase es esencial para la consolidación y seguimiento de los PAMIC por parte de las diferentes personas e instituciones en sus respectivas áreas de competencia. Particularmente, de personas tomadoras de decisiones, técnicos(as) de programas y proyectos orientados a la conservación, restauración o aprovechamiento sustentable, así como de las personas participantes involucradas en procesos de planeación y ordenamientos territoriales. De acuerdo con los distintos niveles y sectores a los que se dirigen los PAMIC (p.ej. academia, gobierno, personal técnico, socios en campo, asociaciones civiles) esta última fase requiere de diferentes estrategias (p.ej. talleres, capacitaciones, recursos audiovisuales, foros, plenarias) para mantener un proceso continuo y coordinado con los actores clave en cada una de las cuencas.

Trabajo de campo

Las actividades del componente participativo consideran la implementación de entrevistas semiestructuradas dirigidas a personas relacionadas con las actividades productivas identificadas en el primer taller. El objetivo es realizar un diagnóstico general de las actividades agropecuarias, identificando el uso de agroquímicos con concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) aplicados a los principales cultivos, así como algunas problemáticas o amenazas relacionadas con el cambio climático y con las conversiones de USV percibidas por los actores locales en territorio.

Además, debido a la heterogeneidad de las cuencas de estudio también se recopila información complementaria que permite comprender de una mejor manera las dinámicas y procesos de producción, por ejemplo: la identificación de las variedades producidas por cultivo; prácticas para la preparación del terreno; periodos de siembra y cosecha; mecanismos de control de malezas; prácticas agroecológicas; principales actividades relacionadas al manejo ganadero, entre otras. El diseño de estos formatos enfocados en las actividades agrícolas y pecuarias en las cuencas, se deriva de los antecedentes que reconocen las formas de producción local, el resultado de los talleres participativos y de las agendas técnicas agrícolas a nivel estatal (INIFAP, 2018) (**Anexo 3**).

La información recopilada de estas entrevistas representa un insumo fundamental para la generación de los mapas de línea base y la elaboración de escenarios plausibles que se describirán en las siguientes secciones.

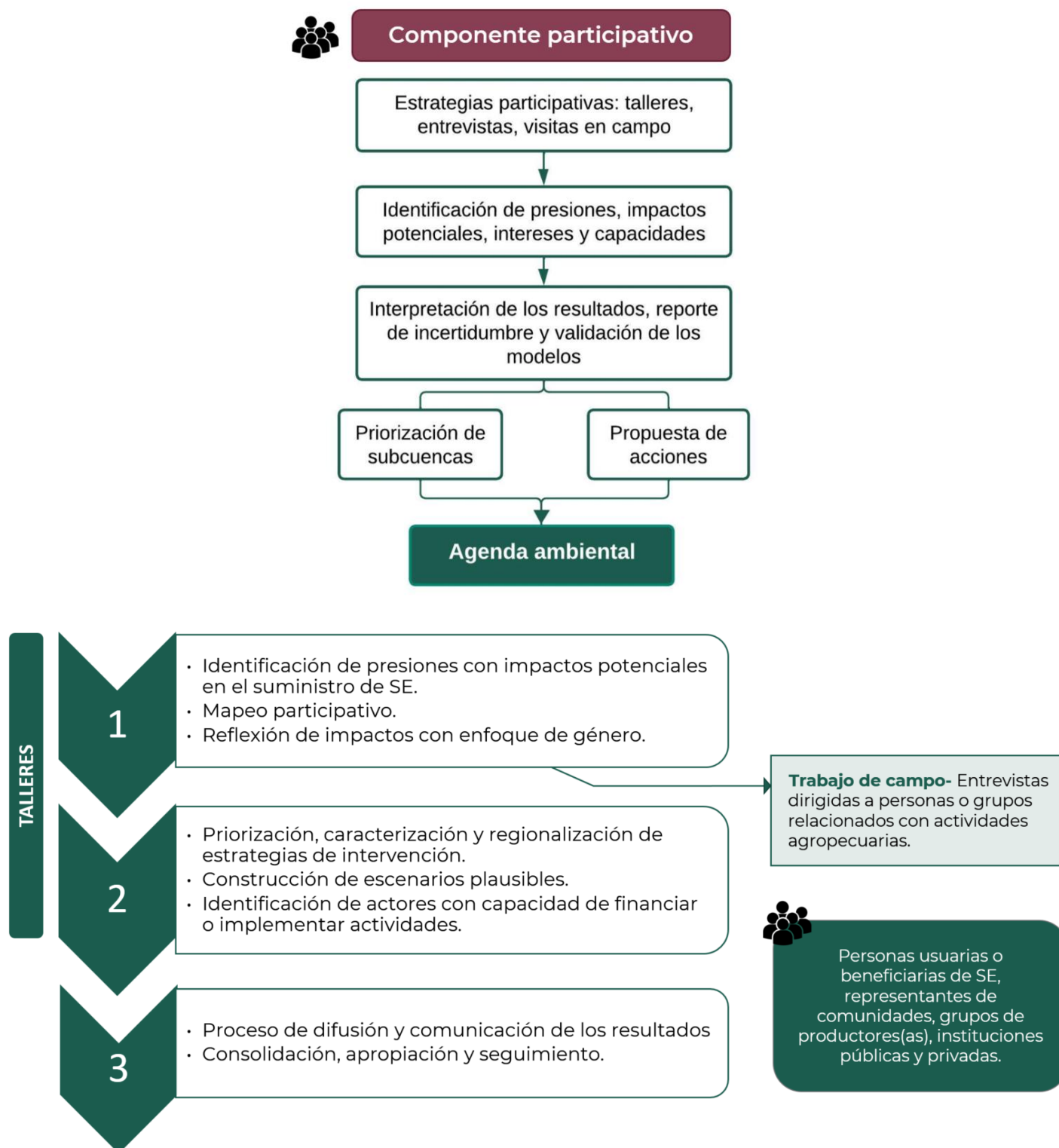


Fig. 7. Esquema conceptual del componente participativo de los PAMIC.

3.4. Enfoque de género

Los instrumentos de diagnóstico y planeación territorial deben contemplar y abordar las diferencias en el acceso, uso y control de los recursos naturales, con la finalidad de no profundizar las desigualdades existentes y promover el aprovechamiento equitativo de los SE. Dado que las relaciones de género son un componente fundamental en la distribución de poder sobre los recursos naturales, las oportunidades económicas, los procesos de toma de decisión y el trabajo de cuidados no remunerados (Buckingham and Le Masson, 2017); el enfoque de género se incorpora de forma transversal en la elaboración de los PAMIC a través de cuatro elementos:

1. Diseño e implementación de talleres participativos.
2. Incorporación y análisis de datos con enfoque de género (índice de brecha de género) en la caracterización socioeconómica y político-institucional de las cuencas.
3. Caracterización con enfoque de género de actividades y eventos con impacto en la provisión de SE.
4. Análisis de las desigualdades de género para la construcción de una agenda ambiental, que promueva acciones afirmativas o criterios incluyentes para otorgar apoyos en materia de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas (p ej. requisitos relacionados con la titularidad de las tierras).

3.5. Proceso de integración

El proceso de integración, tanto del componente técnico (analítico-relacional) como del componente participativo, se organiza en 10 pasos que se describen en los siguientes capítulos de esta guía metodológica. Estos pasos se pueden agrupar en dos etapas (Fig. 8):

- **Etapas 1: Determinación de objetivos y alcances**, considerando la identificación de beneficiarios y su contexto socio-ecológico, las estrategias de intervención y los servicios ecosistémicos prioritarios, lo cual permitirá evaluar y seleccionar la herramienta de modelación y análisis de SE más adecuada a los objetivos del PAMIC.
- **Etapas 2: Implementación, validación y análisis**, que incluye todo el proceso de interpretación y validación de los resultados para consolidar una agenda ambiental que permita plantear una estrategia de seguimiento y monitoreo en conjunto con los diferentes actores en el territorio

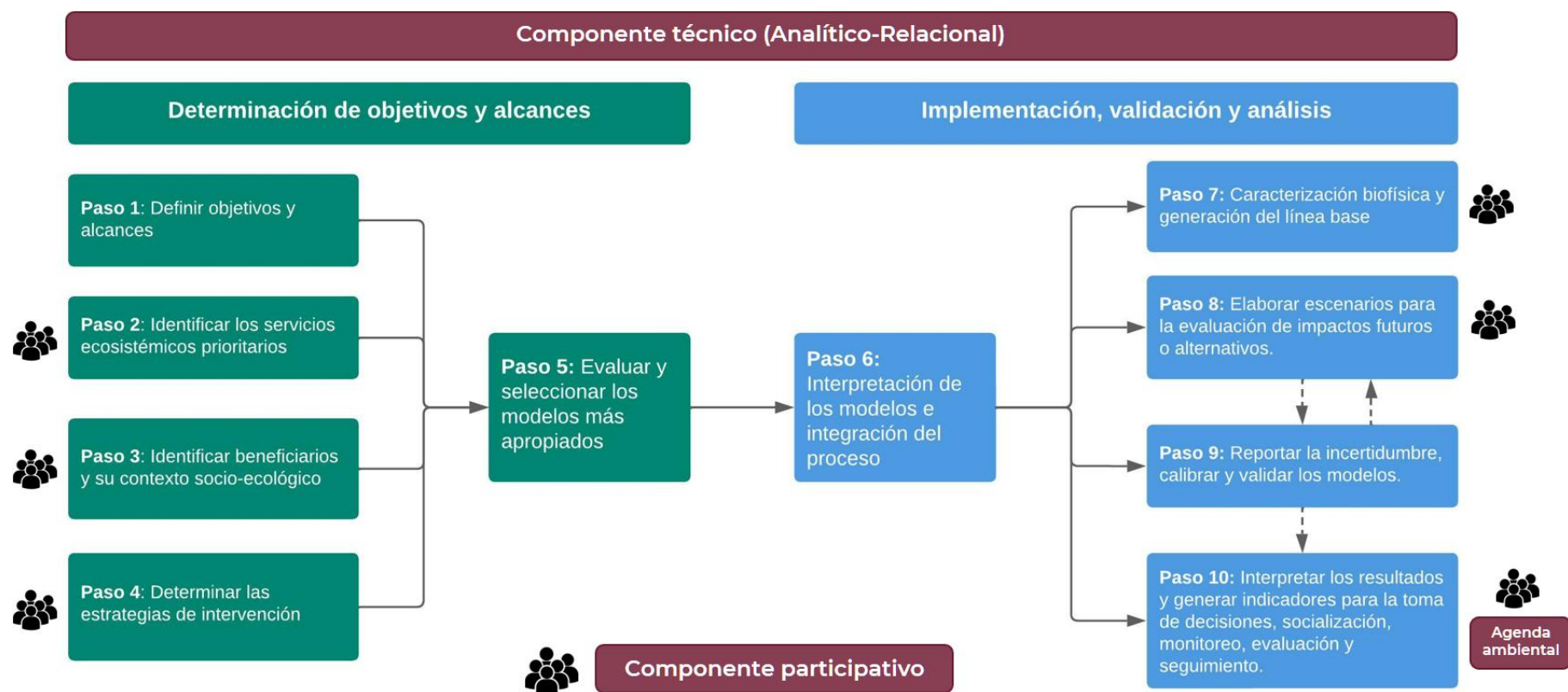


Fig. 8. Guía metodológica para la elaboración de los PAMIC. Esquema del proceso de integración de los diferentes pasos metodológicos, tanto del componente técnico como del componente participativo. Adaptado de Bullock & Ding (2018); Ochoa-Tocachi et al. (2022).

ETAPA 1

Determinación de objetivos y alcances

Esta sección comprende cinco pasos para la identificación y caracterización de usuarios o beneficiarios, su contexto socio-ecológico, las estrategias de intervención y la selección de los servicios ecosistémicos prioritarios; lo cual permitirá evaluar y seleccionar el modelo o herramienta de modelación más adecuada en función de los objetivos y alcances del PAMIC.



ETAPA 1

DETERMINACIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCES

Paso 1. Definir objetivos y alcances

El objetivo de este paso es definir la escala geográfica e identificar el tipo de resultados (p.ej. mapas, bases de datos, indicadores, metas), así como los niveles de exactitud y precisión con la finalidad de localizar áreas de intervención prioritizadas para la provisión de SE específicos y estimar el estado futuro, así como para guiar el desarrollo de políticas y comunicación de los PAMIC (Tabla 1).

Tabla 1. Objetivos, alcances y tipo de resultados.

1. Objetivo	2. Alcance	3. Tipo de resultados
Fortalecer la gestión integral de las cuencas a través de la focalización de acciones orientadas a conservar, restaurar y aprovechar sustentablemente los elementos y bienes comunes que intervienen en la provisión y mantenimiento de SE relevantes para la funcionalidad del territorio.	Consolidar instrumentos de diagnóstico y planeación del territorio que promuevan diferentes estrategias de conservación, restauración y de aprovechamiento sustentable para mantener la funcionalidad de los socio-ecosistemas y fortalecer la toma de decisiones con base en un enfoque de cuenca hidrográfica.	Mapas espacialmente explícitos y distribuidos, incluyendo bases de datos, indicadores y proyecciones de escenarios de cambio climático y cambio de USV, con base en estimaciones y tendencias generales a nivel de cuenca y subcuenca.

Paso 2. Identificar los servicios ecosistémicos prioritarios

El objetivo es identificar los SE prioritarios, de mayor interés y con mayores impactos potenciales asociados a actividades agropecuarias, agroforestales, de conservación y restauración consideradas en las cuencas CONECTA.

En los PAMIC, la selección de los SE relevantes se sustenta con revisiones bibliográficas (Haines-Young and Potschin, 2018; MEA, 2005; Richter et al., 2021; TEEB, 2010; World Bank, 2022), así como con los objetivos, alcances, recursos, datos, capacidades técnicas y el tiempo disponible. Esta selección también se valida con los resultados del primer taller de diagnóstico.

La selección de los SE de interés debe estar en función de la delimitación de la escala geográfica para poder enfocar los esfuerzos de recolección de datos y definir los niveles de precisión y resolución de los resultados de la modelación (Ochoa-Tocachi et al., 2022). El resultado esperado de este paso es la identificación de ecosistemas (estructura, procesos biofísicos y funciones) en función de los SE que se pueden modelar con alguna herramienta, los indicadores y su escala de análisis (cuenca y subcuenca. Con base en lo anterior, los SE seleccionados que se analizan en los PAMIC se describen en la Tabla 2. No obstante, en etapas subsecuentes de actualización o elaboración de nuevos PAMIC

en otras cuencas de interés se podría considerar el análisis de otros SE relevantes o complementarios (p.ej. polinización, recreación, almacenamiento y captura de carbono).

Tabla 2. Servicios ecosistémicos (SE) seleccionados, indicadores y resultados para las cuencas.

1. Servicios ecosistémicos (SE) seleccionados para las cuencas CONECTA	2. Estructura, procesos biofísicos y funciones socio-ecológicas que influyen en los SE seleccionados	3. Indicadores y resultados
Provisión de agua superficial y subterránea.	Disponibilidad de agua en función del rendimiento hídrico y regulación climática en coberturas provistas de vegetación; capacidad para capturar la niebla, aumentar la evapotranspiración y mejorar procesos de infiltración al suelo y subsuelo.	Volumen de agua anual y temporal (acumulado durante la época de estiaje) (mm/año).
Retención de nutrientes (N y P)	Transporte de nutrientes (N y P) relacionados con la fertilización de pastizales, cultivos y heces fecales del ganado -> Capacidad de los diferentes tipos de vegetación de retener o disminuir el ingreso de contaminantes físicos, químicos o biológicos a los cuerpos de agua.	Carga acumulada de nutrientes (kg/año).
Control de transporte de sedimentos	Protección y estabilización de suelos asociados con la topografía, la precipitación, la estructura de los suelos y los diferentes tipos de coberturas vegetales.	Tasas potenciales de pérdida del suelo o transporte de sedimentos (ton/ha/año).

Paso 3. Identificar personas beneficiarias de los SE y su contexto socio-ecológico

De acuerdo con su definición, los SE se identifican por los diferentes beneficios directos e indirectos que tienen efectos en la calidad de vida de las personas. Por lo tanto, un SE solo existe si estos beneficios son percibidos o utilizados por las personas. Esta percepción o uso de los diferentes SE dependerá de una diversidad de factores como las características socio-económicas, reglas y acuerdos políticos, actividades productivas, preferencias y contexto socio-cultural (Peh et al., 2013).

Los cambios en el uso y la distribución de los SE suelen tener diferentes impactos en las personas usuarias o beneficiarias dependiendo de su ubicación en la cuenca y la manera en la que utilizan o se benefician de estos SE. Estas diferencias son uno de los aspectos más importantes en cualquier evaluación de SE para poder promover la distribución equitativa de los mismos, tomando en consideración que cualquier intervención en el territorio o en el manejo de los recursos naturales, podría impactar de forma positiva o negativa en el bienestar de las personas usuarias o beneficiarias que se distribuyen en la cuenca. En algunos casos, las y los beneficiarios que asumen los costos de mantener la provisión de los SE podrían necesitar ser compensados por otras personas usuarias que también se benefician (p.ej. propietarios de terrenos destinados a la conservación bajo un esquema de Pago por Servicios Ambientales, PSA).

Este enfoque de **corresponsabilidad social y territorial** para la protección de ecosistemas y el mantenimiento de sus SE a nivel de cuenca hidrográfica es fundamental para analizar las posibles compensaciones derivadas de las externalidades tanto positivas como negativas, las cuales se asocian con los flujos de agua que transcurren desde las partes más altas de la cuenca hasta su desembocadura en las partes más bajas. Asimismo, los cambios en la provisión de SE puede tener impactos diferenciados entre los individuos que conforman una comunidad, debido a que el acceso y la gestión de los recursos podría estar determinado por acuerdos locales, tipos de tenencia de la tierra, género, etnicidad, condición social o contexto cultural (Daw et al., 2011).

Con base en lo anterior, en los PAMIC se analiza el contexto socio-ecológico con perspectiva de género considerando la siguiente información, la cual se puede ir modificando o complementando con etapas subsecuentes de actualización (Tabla 3):

- La caracterización poblacional y socio-económica asociada con las personas usuarias o beneficiarias de los SE seleccionados en cada una de las cuencas, incluyendo el cálculo de índices de caracterización socioeconómica y de brechas de género, se puede obtener a partir de la recopilación de diferentes fuentes de información pública.
- Los resultados del primer taller participativo y las entrevistas con productores (as) permiten identificar algunos de los principales usos y problemáticas percibidos por los actores locales. Esta información se complementa con una caracterización política-institucional y documentos públicos disponibles para cada una de las cuencas.

Tabla 3. Identificación de personas usuarias o beneficiarias de los SE seleccionados y caracterización del contexto socio-ecológico e institucional en los PAMIC.

1. Personas usuarias de los SE seleccionados	2. Caracterización socioeconómica y político institucional.	3. Ejemplos de usos y problemáticas asociadas con el suministro de los SE
• Población rural y urbana asentada en las cuencas (comunidades, ejidos, asentamientos urbanos). • Personas usuarias de concesiones y asignaciones de agua superficial y subterránea (usos consuntivos y no consuntivos). • Productores(as) agroforestales. • Mujeres y hombres ganaderos.	• Densidad poblacional y localidades (INEGI, 2020) • Tenencia de la tierra (RAN, 2022, 2021) • Delimitación municipal y unidades económicas (INEGI, 2022) • Actividades ganaderas y de aprovechamiento forestal (INEGI, 2016) • Vulnerabilidad de la ganadería al cambio climático (INECC, 2019) • Índice de Caracterización Socioeconómica (ICSE) y de brecha de género. • Consejos de Cuenca y órganos auxiliares (comisiones y comités) (CONAGUA, 2023) • Instrumentos de planeación y áreas de importancia biocultural (ANP, ADVIC, Sitios RAMSAR, AICAS, UMAS, OET),(SIGIEA-SEMARNAT, 2022)	• Fuentes de abastecimiento principales y alternativas y dificultad de acceso. • Frecuencia de suministro de agua. • Periodos de sequías o inundaciones. • Extracción inadecuada de agua (superficial y subterránea) para diferentes usos. • Uso de fertilizantes químicos. • Deforestación. • Incendios

3.1. Índice de Caracterización Socioeconómica (ICSE) y de brecha de género

El ICSE se adaptó al enfoque de los PAMIC con base en las metodologías de Chakraborty et al., (2019); Estrada et al. (2020) y Haro et al. (2021). Los resultados del ICSE se complementan con la construcción de un índice de brecha de género, el cual es una adaptación del índice de género del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC) (INECC, 2019).

Para la construcción del ICSE en todas las cuencas del proyecto CONECTA, se seleccionaron indicadores de etnicidad, educación, características económicas, servicios de salud y vivienda derivados del censo poblacional y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2022, 2020). Por su parte, el índice de brecha de género analiza de manera general la magnitud de la desigualdad entre las mujeres y los hombres en las cuencas CONECTA. Para ello, integra indicadores relacionados con el contexto sociodemográfico y económico publicados en el Censo de Población y Vivienda, la Encuesta Intercensal y el Censo Ejidal (INEGI, 2020, 2015, 2007). Ambos índices se relacionan con la problemática del cambio climático, ya que caracterizan las condiciones en las que se desarrollan las personas y que influyen en la construcción de la vulnerabilidad climática (INECC-IMTA-INMUJERES, 2019). Las descripciones de los indicadores incluidos para la construcción de cada uno de los índices se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Descripción de indicadores utilizados para la construcción del ICSE y brecha de género para las cuencas del proyecto CONECTA.

Indicador	Clave	Descripción	ICSE	Índice de brecha de género
ETNICIDAD				
La descripción de la población que habla una lengua indígena o con reconocimiento de afrodescendencia puede ayudar a identificar desigualdades y discriminación estructural que puedan existir en la sociedad (CEPAL, 2000).				
Población que habla alguna lengua indígena	P5_HLI_NHE	Porcentaje de personas de 5 a 130 años de edad que hablan alguna lengua indígena y además no hablan español. En el caso del índice de brecha de género se utilizó la base de datos desagregada por sexo (porcentaje de personas de 3 a 130 años de edad) (INEGI, 2020).	◆	◆
Población afroamericana o afrodescendiente	POB_AFRO	Porcentaje de personas que se consideran afroamericanos o afrodescendientes (INEGI, 2020).	◆	
EDUCACIÓN				
La inclusión de esta dimensión ofrece un panorama general de las condiciones de desigualdad para acceder al conocimiento, lo cual puede definir el fortalecimiento de capacidades para enfrentar la vida cotidiana y fortalecer conocimientos específicos para reaccionar de manera informada ante eventos climáticos o desastres naturales (INECC-IMTA-INMUJERES, 2019)				
Población sin escolaridad	P15YM_SE	Porcentaje de personas de 15 a 130 años que no aprobaron ningún grado escolar o que sólo tienen nivel preescolar (INEGI, 2020).	◆	◆
CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS				
Los datos económicos son esenciales para comprender la situación económica actual, evaluar el bienestar, identificar desigualdades y oportunidades, y tomar decisiones informadas para impulsar su desarrollo y crecimiento económico.				
Población económicamente inactiva	PE_INAC	Porcentaje de personas de 12 a 130 años que trabajaron, tenían trabajo, pero no trabajaron o buscaron trabajo en la semana de referencia (INEGI, 2020).	◆	◆

Indicador	Clave	Descripción	ICSE	Índice de brecha de género
Trabajo no remunerado	PTNR	Porcentaje de la población de 12 años y más que realizan trabajo no remunerado (INECC, 2015; INEGI, 2015)		◆
Unidades económicas (UE) con más de 250 personas empleadas	EST_PER_OCU	Las Unidades Económicas (UE) son unidades estadísticas que recopilan datos referentes a un tipo de actividad principal y producen bienes o servicios con o sin fines mercantiles, con acciones y recursos bajo control de una sola entidad propietaria o controladora (INEGI, 2014). De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2022) se considera al personal contratado directamente por la razón social y al personal ajeno suministrado por otra razón social, que trabajó para la UE con más de 250 personas empleadas, puede ser personal de planta, eventual remunerado o no remunerado.	◆	
SERVICIOS DE SALUD Esta dimensión proporciona información de las desigualdades y exclusiones que ponen en riesgo la salud de la población ante enfermedades infecciosas, no infecciosas o ante eventos climáticos (INECC, 2019)				
Población sin afiliaciones a servicios de salud	PSINDER	Porcentaje de personas que no están afiliadas a servicios médicos en ninguna institución pública o privada (INECC, 2015; INEGI, 2020, 2015).	◆	◆
VIVIENDA En los objetivos del desarrollo sostenible para poner fin a la pobreza se propone garantizar que todos los hombres y mujeres, tengan los mismos derechos a los recursos económicos y acceso a los servicios básicos en la propiedad y el control de la tierra y otros bienes, como las nuevas tecnologías y los servicios financieros (ONU, 2018)				
Ocupación de viviendas particulares	PRO_OCUP_C	Número de personas que residen en viviendas particulares (p.ej. casa única en el terreno; casa que comparte terreno con otra(s); casa dúplex; departamento en edificio; vivienda en vecindad o cuartería; vivienda en cuarto de azotea de un edificio y viviendas sin información de ocupantes) divididas en el número de cuartos registrados (INEGI, 2020).	◆	
Viviendas con piso de tierra	VPH_PISOTI	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con piso de tierra (INEGI, 2020).	◆	
Viviendas sin energía eléctrica	VPH_S_ELEC	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no tienen energía eléctrica (INEGI, 2020).	◆	
Viviendas sin agua entubada	VPH_AGUAFV	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no tienen disponibilidad de agua entubada (INEGI, 2020).	◆	
Viviendas con letrina (pozo u hoyo)	VPH_LETR	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de letrina (pozo u hoyo) (INEGI, 2020).	◆	
Viviendas sin drenaje	VPH_NODREN	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje (INEGI, 2020).	◆	
Viviendas sin bienes materiales	VPH_SNBIEN	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no cuentan con refrigerador; lavadora; horno de microondas; automóvil o camioneta; motocicleta o motoneta; bicicleta que se utilice como medio de transporte; algún aparato o dispositivo para oír radio; televisor; computadora, laptop o tablet; Internet; línea telefónica fija; teléfono celular; servicio de televisión de paga (cable o satelital); servicio de películas, música o videos de paga por Internet ni consola de videojuegos (INEGI, 2020).	◆	
TENENCIA DE LA TIERRA El fortalecimiento del derecho de las mujeres sobre la tenencia de la tierra se vincula con mejores condiciones de vida, mayores ingresos y ahorros individuales (ONU, 2018).				
Personas con tenencia de la tierra	PPT	Porcentaje de personas ejidatarias desagregadas por sexo (INEGI, 2007)		◆

El ICSE y el índice de brecha de género simplifican la dimensión y las relaciones entre variables socioeconómicas determinadas a nivel municipal, a partir de pruebas estadísticas como el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés). El PCA permite la identificación y selección de las variables socioeconómicas con mayor significancia estadística para posteriormente, asignar valores de 0 a 1. Mayores valores en el ICSE y en el Índice de Brechas de Género (ceranos a uno) representan condiciones socioeconómicas más desfavorables y mayor desigualdad de género, respectivamente, lo cual exacerba las condiciones de vulnerabilidad climática

El PCA consiste en analizar un grupo de variables que pueden estar fuertemente relacionadas, pero conservando la mayor parte de la varianza de la información original. En esta prueba estadística se puede aplicar la rotación de los componentes principales (función *Kaiser-Varimax*) para una simplificación de las interpretaciones y para que los datos de los componentes obtenidos sean lo más diferenciados posibles (Springer, 2002). En términos generales, la rotación de los componentes principales resulta en un menor número de variables relevantes que facilita la interpretación de los resultados (variables con valores >0.7 en cada componente principal) (**ANEXO 4**).

Considerando la cantidad y diversidad de los indicadores seleccionados para el ICSE y brecha de género, resulta necesario identificar correlaciones e idoneidad de los datos para realizar un PCA a través de la aplicación de las siguientes pruebas estadísticas: Barlett ($p < 0.05$), KMO (Kaiser-Meyer-Olkin, valores > 0.5) y Determinant (valores <0.0001).

Dado que los valores de los indicadores utilizados en el PCA se encuentran a nivel municipal, se aplicó una técnica de suma ponderada para interpretar los resultados del ICSE y brecha de género a nivel de subcuenca (ecuación 1). Esta técnica asigna pesos proporcionales a cada municipio en función de su superficie dentro de la cuenca, lo que permite obtener una interpretación más precisa considerando la distribución territorial y la influencia de cada municipio en el conjunto de la cuenca del RLA (Tabla 5).

$$(1) \quad S = \sum_i^n w_i x_i$$

S = Valor total del ICSE o brecha de género por subcuenca
 w_i = Ponderación del acuerdo al % de área del municipio i
 x_i = Valor del ICSE i

Tabla 5. Ejemplo de valores de ponderación para la interpretación del ICSE y brecha de género a nivel de subcuenca.

Subcuenca	Área (ha)	Municipio	Proporción municipal	ICSE o brecha de género (Municipal)	Ponderación	ICSE o brecha de género (subcuenca)
01	12965	A	0.29	0.25	0.07	0.43
		B	0.25	0.5	0.13	
		C	46	0.5	0.23	

La esquema de Figura 9 resume el proceso metodológico y geoespacial para el análisis e interpretación del ICSE con el uso de las herramientas ArcGIS Pro (ESRI, 2022) y el software R (R Core Team, 2022) ([código](#) ).

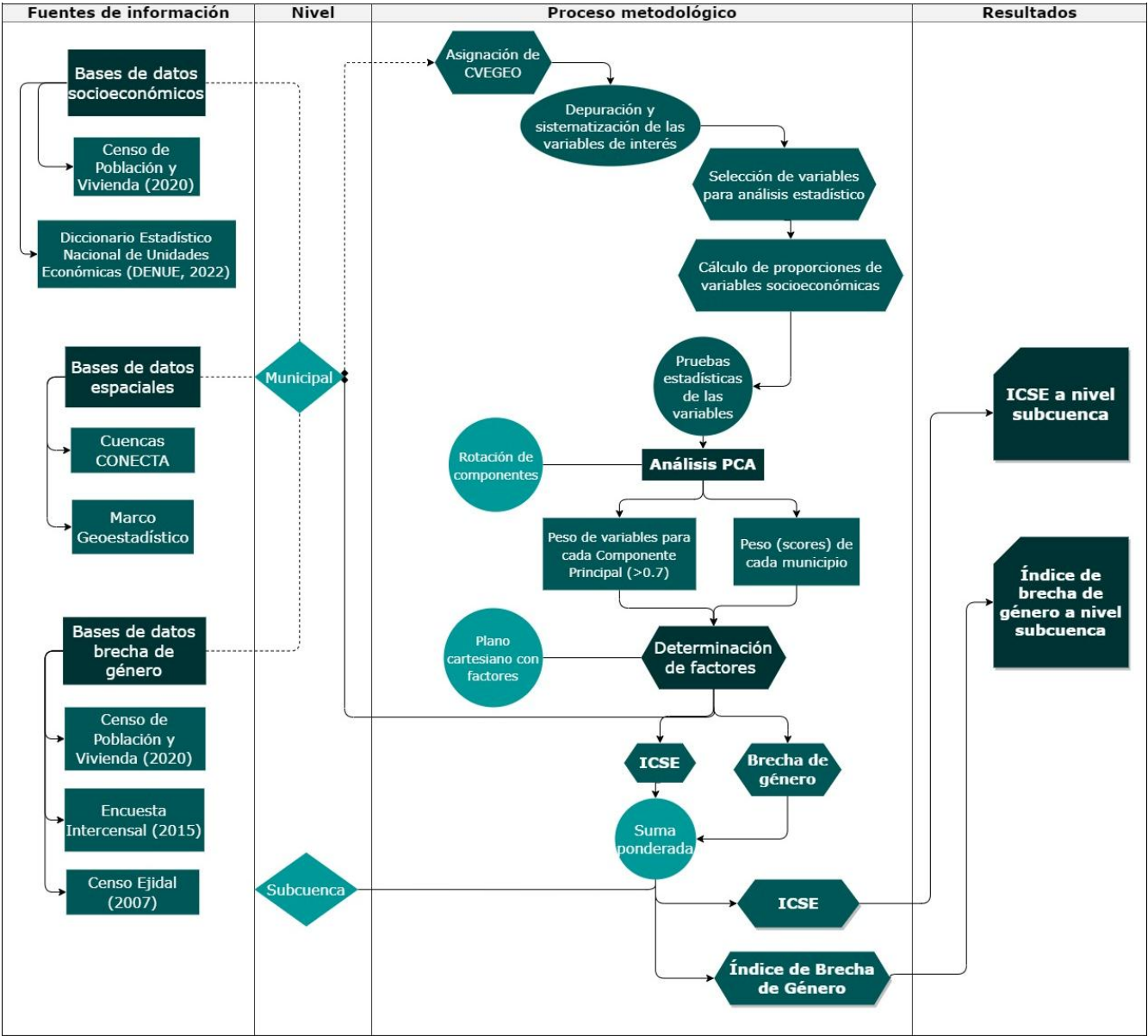


Fig. 9. Proceso metodológico para el análisis e interpretación del ICSE y brecha de género a nivel de subcuenca.

Paso 4. Determinar las estrategias de intervención

La definición de estas intervenciones dentro de los PAMIC es fundamental para identificar aquellos modelos o herramientas que puedan proporcionar mayor información para la focalización de intervenciones en la cuenca en función del contexto socio-ecológico y los datos disponibles.

En este paso se definen los diferentes ejemplos de actividades climáticamente inteligentes que contribuyen a mejorar la conectividad de los paisajes productivos mediante la conservación, restauración y el uso sustentable de recursos en sistemas ganaderos y agroforestales. Para el uso de esta guía y, en el marco del proyecto CONECTA, el listado completo de actividades se puede consultar en la “Convocatoria para propuestas de financiamiento de subproyectos para la conservación, restauración e implementación de prácticas socialmente responsables y climáticamente inteligentes en paisajes ganaderos y agroforestales del proyecto CONECTA” ([Anexo 2, FMCN-INECC, 2022](#)) (Tabla 6). No obstante, la identificación y selección de las estrategias de intervención más adecuadas dependerá del contexto socio-ecológico específico (p. ej. tipos de ecosistemas, problemáticas socio-ambientales, actividades o eventos con impactos potenciales sobre los SE relevantes), así como de los enfoques, objetivos y alcances de cada proyecto (Ávila-García, 2017; Ceccon y Martínez-Garza, 2016).

Tabla 6. Determinación de estrategias de conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas.

1. Sistemas identificados bajo el componente 3 de CONECTA	2. Ejemplos de actividades socialmente responsables y climáticamente inteligentes	3. Enfoques de la priorización territorial para la focalización de las intervenciones en la cuenca
• Ganadería regenerativa o sustentable. • Agroforestería. • Acciones de restauración o rehabilitación. • Prácticas que mejoren la conservación y conectividad de los paisajes.	• Establecer áreas de restauración, reforestación, aforestación y/o mejoramiento de la vegetación en sistemas riparios. • Establecer zonas de conservación de bosques o pastizales nativos. • Reducir el uso de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas inorgánicos/químicos para promover la capacitación y establecimiento de sistemas para la producción local de insumos orgánicos. • Establecer y manejar de manera integral los corredores biológicos articulados (reforestación, fragmentos forestales, franjas riparias, áreas continuas de pastizales nativos) al interior y entre los predios ganaderos	• Conservación: mantener los procesos y dinámicas eco-hidrológicas (p.ej. almacenamiento, infiltración) • Restauración o rehabilitación: reducir la erosión y transporte de sedimentos, así como el efecto de la intensidad de la lluvia sobre el suelo. • Adecuación de prácticas productivas: ganadería regenerativa, agroecología y agroforestería que mejore la protección de los suelos y vegetación.

Paso 5. Evaluar y seleccionar los modelos o herramientas más apropiadas para el análisis de los SE

En las últimas décadas se han desarrollado una gran variedad de herramientas y métodos para evaluar y cuantificar SE cuyo objetivo está enfocado en apoyar la toma de decisiones (IPBES, 2016). Algunas de estas herramientas se han diseñado para su aplicación en cualquier localización a nivel global, mientras que otras se caracterizan por ser más específicas (Birch et al., 2014). A pesar de los

avances significativos en el desarrollo del concepto, métodos y modelos para la evaluación de los diferentes SE, su aplicación para guiar el desarrollo de actividades sostenibles sigue siendo un reto debido a la disponibilidad de recursos e información (Pandeya et al., 2016).

En términos de la evaluación de SE, las herramientas de modelación espacial y representación geográfica representan una excelente opción para el análisis a escala regional o a nivel de cuenca hidrográfica. Dependiendo de la escala, algunas evaluaciones podrían requerir mayores esfuerzos multi y transdisciplinarios, en conjunto con la aplicación de diferentes métodos y herramientas (Pandeya et al., 2016), particularmente en áreas de estudio donde la información socio-ecológica es escasa o poco accesible (Jujnovsky et al., 2017; Peh et al., 2013).

En general, todos los modelos o herramientas para la evaluación de SE poseen ventajas y desventajas por lo que sus alcances, limitaciones y diferentes enfoques (p.ej. evaluación económica, representación espacial y temporal e incorporación de modelos biofísicos existentes) deben considerar los objetivos, así como la temporalidad, los diferentes insumos, la recolección *in situ* de datos específicos, la flexibilidad, la escalabilidad, la accesibilidad, los recursos (p.ej. personal, programas y capacidad computacional) y el nivel de experiencia requerido para cada herramienta (Grêt-Regamey et al., 2017).

En este sentido, Bagstad et al., (2013) analizó el alcance, requerimientos y limitaciones de 17 herramientas de evaluación de SE con base en ocho criterios relacionados con procesos de toma de decisiones en los sectores públicos y privados. Posteriormente, Grêt-Regamey et al., (2017) presentó una revisión de literatura de 68 herramientas de evaluación de SE, analizando su aplicación potencial en términos de localización geográfica, tipos de ecosistemas, escalas, insumos y su aplicación para apoyar la toma de decisiones. Sus resultados indican que la mayoría de estas herramientas se han aplicado en países desarrollados, mientras que un número más limitado solo se han aplicado en países en desarrollo debido a la disponibilidad de datos y esfuerzos de validación. Dentro de estas últimas herramientas destacan TESSA-*Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment* (Peh et al., 2013, 2017) e InVEST-*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs* (Sharp et al., 2018).

Con base en lo anterior, el objetivo de este paso es comparar diferentes herramientas utilizadas en la evaluación de SE para seleccionar el modelo más apropiado considerando el contexto socio-ecológico, la disponibilidad de datos, los recursos, las capacidades técnicas, las fortalezas y limitaciones (Tabla 7). Como resultado y de acuerdo con los objetivos y alcances, se seleccionó la herramienta InVEST para la evaluación de la oferta-demanda de los SE relevantes dentro del marco de acción de los PAMIC. Sin embargo, la selección de otras herramientas de análisis en otras cuencas de interés también dependerá de las características y objetivos determinados en cada proyecto.

Tabla 7. Descripción de algunas de las herramientas más utilizadas en la evaluación de SE. * **Herramienta utilizada para la modelación de SE en las cuencas CONECTA.** (Información modificada con base en Bagstad et al., 2013; Pandeya et al., 2016; Peh et al., 2013).

Herramientas	Descripción y etapa de desarrollo	Implicación de políticas a escala local	Limitaciones	Escalabilidad / Tipo de análisis	Tiempo requerido	Aplicabilidad / Fortalezas
Artificial Intelligence for Ecosystem Services (ARIES) ¹ - Modelación de múltiples SE - Aplicación basada en web. http://www.ariesonline.org	Plataforma de modelación semántica; Modelo basado en redes bayesianas; Software libre; Documentación de algunos componentes del modelo.	Enfocado a la evaluación de SE que pueden integrarse en el proceso de toma de decisiones a nivel local; funcionalidad limitada para escenarios de cambio climático y uso de suelo.	No se proporcionan bases de datos predeterminadas. Se requiere un nivel de conocimiento y experiencia moderado-alto.	Escala regional o global. Cuantitativo. Valores biofísicos se pueden evaluar en términos monetarios	Alto, particularmente para desarrollarse en nuevas áreas de estudio	Baja a menos que se incluya información global. Proporciona mapas de compensaciones y flujos de SE espacialmente explícitos.
Costing Nature ² - Modelación de múltiples SE - Aplicación basada en web. http://www.policysupport.org/costingnature	Herramienta de modelación para analizar 13 SE; Diferentes licencias. Versión 3 en desarrollo.	Enfocada al fortalecimiento de los procesos de toma de decisiones a nivel local. No incluye análisis de escenarios de cambio climático (CC).	Modelos basados en datos globales con información hidroclimática, biofísica y algunos datos socioeconómicos, por lo que requiere información local.	Escala regional o global. Cuantitativo. Se puede incluir valoración económica.	Bajo. Procesamiento y análisis rápidos. Post-procesamiento requiere un SIG complementario	Alto. Análisis rápido con base en información global. Mapas de priorización para la conservación y algunas métricas de ODS (ONU, 2021)
* Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST) ³ - Modelación de múltiples SE - Aplicación basada en web. http://www.naturalcapitalproject.org	Modelos distribuido para cuantificar y mapear múltiples SE; Acceso abierto; Documentación en línea actualizada.	Ampliamente usada para fortalecer la toma de decisiones, particularmente para el manejo integral de recursos hídricos y comparación de escenarios alternativos.	Se requieren datos locales específicos dependiendo de cada módulo. Conocimiento y experiencia intermedio en SIG.	Escala local, regional o global. Cuantitativo. Resultados en términos biofísicos o económicos.	Moderado-alto, dependiendo de la disponibilidad de datos.	Alto, aunque puede estar limitado por la disponibilidad de datos. Resultados espacialmente explícitos, incluyendo escenarios de CC y USV.
Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment (TESSA) ⁴ - Marco conceptual y métodos para múltiples SE - Plataforma basada en web para diferentes enfoques. http://tessa.tools/	Guía que incluye diferentes métodos y enfoques de evaluación de SE con base en la comparación de escenarios alternativos. Acceso abierto.	Métodos simples y de bajo costo que pueden ser aplicados por usuarios sin tanta experiencia técnica, enfocados al fortalecimiento de la toma de decisiones a nivel local.	Algunos métodos requieren información de datos in situ para analizar los escenarios alternativos.	Escala local. Cualitativo, Cuantitativo. Incluye métodos para valoración monetaria o biofísica.	Bajo-moderado dependiendo el SE y método relacionado con información in situ.	Bajo-moderado. Métodos flexibles, diseñados para adaptarse al contexto socio-ecológico de cada área de estudio.
WaterWorld ⁵ - Modelación de múltiples SE - Aplicación basada en web. http://www.policysupport.org/waterworld	Sistema de modelación basado en información en formato ráster. Diferentes tipos de licencias. Versión 3 en desarrollo	Adecuado para análisis relativamente rápidos que incluyan escenarios de CC y cambios de USV, particularmente para fortalecer el manejo integral de los recursos hídricos.	Modelos basados en datos globales con información hidroclimática, biofísica y algunos datos socioeconómicos, por lo que requiere información local.	Escala regional o global (resolución; 1 ha o 1 km) Cuantitativo. Proporciona algunos índices de calidad y provisión de agua, incluyendo algunas valoraciones económicas.	Bajo. Procesamiento y análisis rápidos. Post-procesamiento requiere un SIG complementario	Alto. Análisis rápido con base en información global. Particularmente utilizado en áreas montañosas con escasa información o dificultad para recolectar datos.

¹Bagstad et al., (2013); Villa et al., (2009). ²Mulligan et al., (2010a); ³Sharp et al., (2018); ⁴Peh et al., (2013, 2017); ⁵Mulligan, (2013).

ETAPA 2

Implementación, análisis y validación

Esta sección describe los últimos cinco pasos para el análisis, validación e interpretación de resultados para consolidar una agenda ambiental que permita plantear una estrategia de implementación, seguimiento y monitoreo en conjunto con los diferentes actores en el territorio.



ETAPA 2

IMPLEMENTACIÓN, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN

Paso 6. Interpretación de los modelos e integración del proceso

La primera etapa de la guía metodológica finaliza con la selección de la herramienta de modelación y análisis de (SE) que mejor se ajusta a los objetivos del PAMIC. Una vez determinados los alcances, objetivos y herramientas, la segunda etapa se enfoca en los procesos de implementación, análisis y validación para la interpretación participativa de los resultados que fortalezcan la toma de decisiones. Por lo tanto, en este apartado se describen los últimos cinco pasos tomando como ejemplo los resultados del PAMIC de cuenca del Río La Antigua (RLA).

6.1. Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST)

InVEST ha sido ampliamente utilizado en evaluaciones socio-ecológicas y de planeación territorial basadas en escenarios alternativos (Bagstad et al., 2013; Grêt-Regamey et al., 2017). Esta herramienta es un conjunto de modelos de software libre y de código abierto desarrollados por el *Natural Capital Project* (Stanford University; Sharp et al., 2018). El sistema está compuesto por 18 módulos de SE diseñados tanto en paisajes terrestres como marinos y costeros (p.ej. polinización, calidad del hábitat, transporte de nutrientes, rendimiento hídrico, captura de carbono), así como un par de herramientas complementarias (p.ej. generador de escenarios basados en la proximidad y delimitación de cuencas).

Los modelos de InVEST son espacialmente explícitos y se pueden ejecutar de forma independiente, usando y obteniendo una serie de insumos geoespaciales (en formato shape o ráster) que se deben pre-procesar y visualizar en un Sistema de Información Geográfica (SIG) complementario (p.ej. ArcGIS o QGIS).

En los siguientes pasos de esta guía se describirán los módulos seleccionados para la modelación de los SE con el uso de la herramienta InVEST, la construcción participativa de escenarios, la estimación de la incertidumbre con base en análisis estadísticos y, finalmente, el proceso de integración para la interpretación de los resultados en un contexto de toma de decisiones.

Paso 7. Caracterización biofísica y generación de línea base

De acuerdo con el esquema conceptual del componente técnico de los PAMIC (Fig. 6) se pueden identificar cuatro principales elementos de análisis: 1) Oferta o provisión de SE derivados de la estructura, funciones y procesos biofísicos de los ecosistemas; 2) Demanda o uso de SE por parte de los diferentes usuarios o beneficiarios distribuidos en las cuencas; 3) Conectividad hidrográfica; y 4) Incorporación de escenarios de cambio climático y USV.

Además del proceso de modelación, los PAMIC deben incorporar una descripción general de localización y características de la cuenca, así como información del relieve, rasgos geomorfológicos, zonificación altitudinal, tipos de clima, suelo y vegetación.

7.1. Oferta o provisión de servicios ecosistémicos (SE)

Los SE que dependen de la cantidad y calidad del agua, como la provisión agua superficial y subterránea, el transporte de nutrientes, la regulación de flujos y el control de la erosión hídrica, son fundamentales para el bienestar humano y el manejo integral de los recursos hídricos (Seifert-Dähnn et al., 2015). Estos servicios ecosistémicos hidrológicos (SEH) están relacionados con los ecosistemas acuáticos y sus zonas de transición con otros ecosistemas terrestres (p.ej. bosques, pastizales, cultivos agrícolas, vegetación riparia y humedales), por lo que suelen sustentar otros SE relevantes como la provisión de bienes cultivados, los servicios recreativos o culturales y la captura de carbono (Grizzetti et al., 2016).

Los procesos eco-hidrológicos a nivel de cuenca hidrográfica suelen ser difíciles o costosos de analizar debido a que se requieren largos periodos de validación. Incluso, las evaluaciones a nivel de sitio o parcela requieren equipo especializado, cuyas observaciones son difíciles de replicar a un mayor nivel o escala, particularmente, cuando se requiere capturar la variabilidad climática o estimar el impacto potencial de la alteración de estos procesos (p.ej. cambios en las tasas de evapotranspiración) sobre los diferentes SE en regiones poco accesibles (Redhead et al., 2016). Ante esta situación, los modelos (definidos como representaciones simplificadas que utilizan conceptos y aproximaciones de procesos reales de los sistemas), representan una herramienta muy útil para entender y analizar dinámicas complejas con base en estimaciones cuantitativas que fortalecen la toma de decisiones (Pandeya et al., 2016).

De esta forma, en los siguientes apartados se describen los insumos y las fuentes de información utilizadas para el proceso de modelación de los SE de provisión y calidad de agua, con el uso de la herramienta InVEST (Fig. 10). Una descripción más detallada del geoprocesamiento para la identificación de las subcuencas con mayor y menor provisión de SE se incluye en el **Anexo 5**.

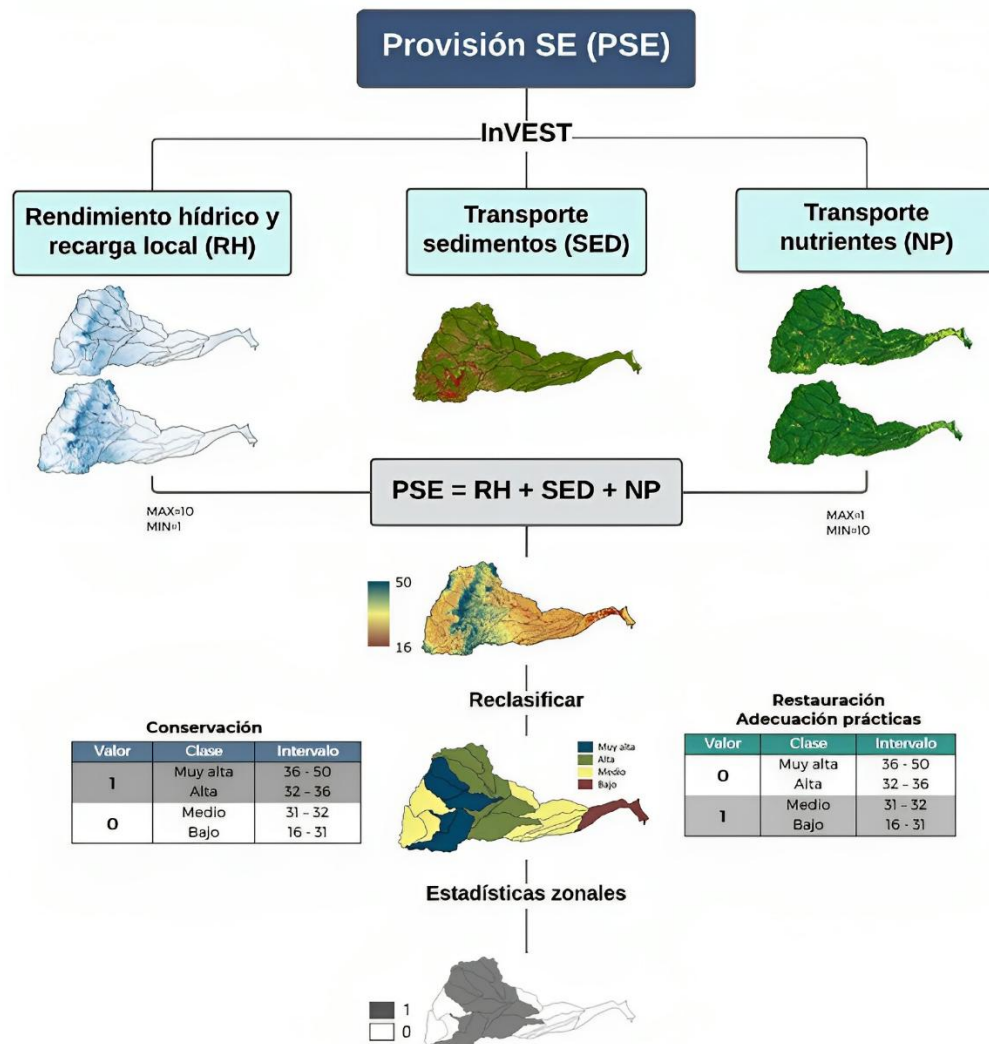


Fig. 10. Esquema de integración y análisis para la identificación de las subcuencas con mayor y menor provisión de SE. Las subcuencas prioritarias resultado del geoprocesamiento se resaltan en color oscuro.

7.1.1. Provisión de agua- Rendimiento hídrico anual y estacional

La provisión de agua dentro de las cuencas involucra procesos de filtración, retención y almacenamiento; por lo que el tipo de relieve, la topografía, el tamaño de las cuencas, la ubicación geográfica, los tipos de suelo, la litología, las coberturas forestales y el clima, juegan un papel fundamental en la regulación de estas dinámicas eco-hidrológicas (De Groot et al., 2002).

El rendimiento hídrico anual derivado del modelo InVEST (*Annual Water Yield*) se utilizará como una aproximación para estimar la cantidad promedio de agua que se produce en la cuenca y que está disponible como recurso superficial o subterráneo para diferentes usos.

El modelo de InVEST estima las contribuciones relativas de agua o el rendimiento hídrico (Y) (mm/año) para cada píxel (x) de acuerdo con la expresión de la curva de (Budyko, 1974), adaptada por Fu, (1981) y Zhang et al., (2004) (ecuación 2):

$$(2) \quad Y(x) = \left(1 - \frac{AET(x)}{P(x)}\right) \cdot P(x)$$

P = Precipitación anual
 AET = Evapotranspiración real (cantidad de agua evaporada efectivamente en función de la superficie del suelo y el tipo de cobertura vegetal)

El modelo de rendimiento hídrico anual requiere cinco parámetros biofísicos como rásters georreferenciados de entrada: 1) profundidad de restricción para el crecimiento de las raíces; 2) fracción de agua contenida en el suelo disponible para las plantas; 3) precipitación promedio anual; 4) promedio anual de evapotranspiración de referencia; 5) mapa de uso de suelo y vegetación (USV). El modelo también requiere de coeficientes específicos (tabla biofísica con valores separados por comas) asociados a cada una de las clases del mapa de USV (Tabla 6, **Anexo 6**).

Los resultados del rendimiento hídrico anual modelan la contribución potencial de agua desde cada zona del paisaje, ofreciendo información sobre cómo los diferentes usos del suelo pueden afectar el escurrimiento superficial. Mientras que el análisis de los flujos estacionales: flujos rápidos (que ocurren durante o poco después de un evento de lluvia) y flujos base (que ocurren durante las épocas de sequía), son fundamentales para estimar espacial y temporalmente la producción de agua en una cuenca.

Por tal motivo, también se utilizó el modelo del rendimiento hídrico estacional de InVEST (*Seasonal Water Yield*) para cuantificar la esorrentía superficial mensual (flujo rápido o *quickflow*) y la recarga local (L) por píxel. El índice de recarga local se calcula en una escala de tiempo anual, pero utiliza valores derivados de la disponibilidad de agua mensual por lo que representa la contribución potencial al flujo base. En este sentido, el modelo asume que las precipitaciones que no escurren como flujos rápidos, y no son evapotranspiradas por la vegetación en un píxel, pueden infiltrarse en el suelo para convertirse en recargas de agua locales.

Es importante considerar que los resultados del modelo estacional tienen un alto grado de incertidumbre, debido a que los procesos de análisis se simplifican tanto a escala espacial como temporal, por lo que es necesario interpretarlos como indicadores. En este caso, los mapas de flujo rápido también se utilizaron de manera particular para la corrección de los límites de las subcuencas (FIRCO-UAQ, 2005) y como un insumo de entrada para la modelación del transporte de nutrientes.

El marco conceptual de este modelo es similar al desarrollado por (Thompson et al., 2011), el cual presenta dos características clave: sensibilidad a la vegetación (y, por lo tanto, a los usos del suelo) y representación explícita de las trayectorias de flujo. Para esto, además del mapa de USV y la tabla biofísica, el modelo requiere de los siguientes insumos: 1) Modelo de Elevación Digital (DEM); 2) promedios de precipitación y evapotranspiración mensual; 3) grupo hidrológico de suelos; 4) tabla de eventos de lluvia (Tabla 6, **Anexo 6**).

En primer lugar, el modelo calcula el flujo rápido mensual por píxel con base en una modificación del enfoque del número curva, el cual estima la cantidad de lluvia que escurre rápidamente sobre la superficie, en lugar de infiltrarse en el suelo produciendo una recarga local. El número de curva (*Curve Number- CN*) es una forma sencilla de capturar la precipitación mensual, la cantidad de eventos de lluvia por periodo y las propiedades del suelo y vegetación: los valores más altos de CN tienen un mayor potencial de escorrentía (p.ej. suelos arcillosos y poca cobertura vegetal), mientras que los valores más bajos representan mayores tasas de infiltración (p.ej. suelos arenosos y coberturas forestales densas). Por último, el modelo también calcula el índice de flujo base, que representa la contribución real de un píxel o la cantidad de agua que llega a la red fluvial (Fig. 11).

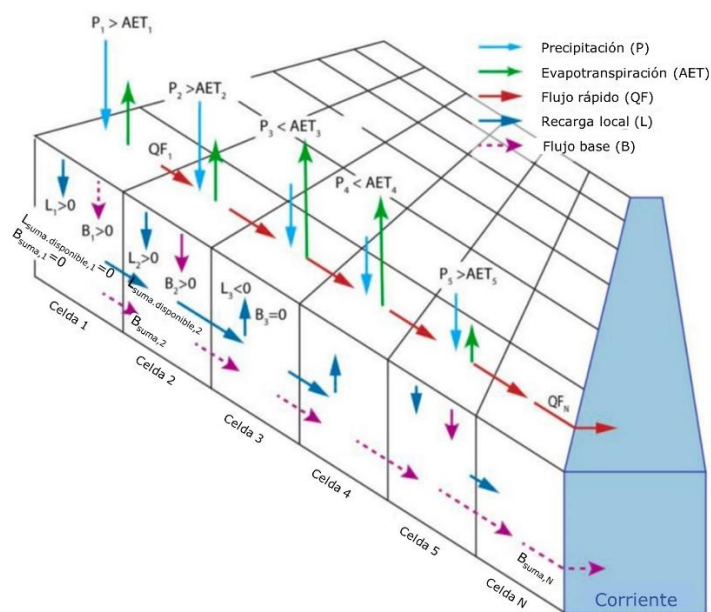


Fig. 11. Esquema conceptual para el cálculo del balance hídrico a escala de píxel, utilizado en el modelo de rendimiento hídrico estacional (InVEST) (Hamel et al., 2020).

7.1.2. Transporte de sedimentos

La pérdida del suelo, relacionada con un incremento significativo en el transporte de sedimentos, se ha observado en muchas regiones alrededor del mundo (Hamel et al., 2015). Particularmente, la erosión acelerada del suelo relacionada con las dinámicas hidrológicas, ha afectado de manera drástica en la calidad del agua, la productividad del suelo y la pérdida de nutrientes (Benavidez et al., 2018). Lo que, a su vez, ha impactado en la degradación de las coberturas vegetales, la pérdida de la biodiversidad y la desestabilización de laderas. Esto también ha ocasionado bajos rendimientos en la producción agrícola y pecuaria, así como en la disminución de la vida útil de las obras hidráulicas por la cantidad de sedimentos que transporta el agua (Montes-León et al., 2011).

Los cambios en el transporte de sedimentos se derivan de las complejas interacciones entre la topografía, el clima y los cambios de uso de suelo y vegetación. Por lo tanto, analizar la capacidad de retención de sedimentos por parte de las coberturas vegetales es fundamental para fortalecer los planes de manejo territorial (Martin-Ortega et al., 2013). Específicamente, dentro del marco de los PAMIC, la identificación de zonas con mayor producción o retención de sedimentos es la base para poder diseñar mejores estrategias para reducir las cargas de sedimentos o promover la conservación de áreas con alta capacidad de retención.

El modelo de producción y transporte de sedimentos de InVEST (*SDR-Sediment Delivery Ratio*) estima la capacidad que tiene una parcela del terreno para retener sus partículas. Una vez liberadas estas partículas sólidas se convierten en sedimentos que están sujetos a la acción de agentes externos que los transportan a otras áreas. De esta forma, las áreas que presentan altas tasas de pérdida del suelo, también son potencialmente exportadoras de sedimentos. Por lo tanto, los resultados del modelo representan el promedio anual de producción y retención de sedimentos por subcuenca, con base en algoritmos que, primero calculan la cantidad de pérdida de suelo a escala de píxel y, posteriormente, las tasas de sedimentos producidas en una determinada zona pero que desembocan en la red fluvial (Borselli et al., 2008).

La cantidad de pérdida de suelo anual (us/e) (ton/ha/año) por píxel (x) se calcula con base en la Revisión de la Ecuación Universal sobre Pérdida de Suelos (RUSLE) (Renard et al., 1997) (ecuación 3):

$$(3) \quad us/e_x = (R * K * LS * C * P)_x$$

R = Erosividad pluvial
 K = Erodabilidad del suelo
 LS = Factor de longitud de la pendiente
 C = Factor de vegetación y usos de suelo
 P = Prácticas de conservación de suelo

Dado que el transporte de sedimentos se calcula en función de la conectividad hidrológica, que está asociada a las pendientes y a las redes de flujo superficial (Vigiak et al., 2012), el modelo requiere de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y valores específicos de los factores R y K (RUSLE) relacionados con las características de la vegetación y usos de suelo (Tabla 6, **Anexo 6**).

7.1.3. Transporte y retención de nutrientes

Los cambios de uso de suelo y, en particular, el aumento de la frontera agrícola, modifican el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas. Las cargas de nutrientes se refieren a la cantidad de elementos como nitrógeno (N) y fósforo (P), que ingresan a los ecosistemas presentes en una cuenca desde numerosas fuentes puntuales (p. ej. descargas de efluentes industriales o plantas de tratamiento) o difusas (p. ej. aplicación de fertilizantes utilizados en los cultivos agrícolas o pastizales) (Hou et al., 2020).

Identificar y analizar las cargas potenciales de nutrientes que llegan a los diferentes cuerpos de agua es importante para promover mejores prácticas de conservación que eviten procesos de eutrofización (el incremento de sedimentos y nutrientes inorgánicos procedentes de prácticas antropogénicas que producen la proliferación de algas) u otros impactos negativos en la calidad del agua (Han et al., 2021), los cuales tienen consecuencias para la salud o bienestar las personas y para los ecosistemas acuáticos que tienen una capacidad limitada para adaptarse a estas cargas de nutrientes (Keeler et al., 2012).

El modelo de producción y transporte de nutrientes de InVEST (*NDR-Nutrient Delivery Ratio*) se utilizará para simular las cargas de N y P que transcurren y descargan potencialmente en los diferentes cuerpos de agua presentes en las cuencas. Este modelo simula el flujo de nutrientes a largo plazo con base en ecuaciones simplificadas de balances de masa, que describen el movimiento empírico de la cantidad de nutrientes a través del espacio.

El modelo requiere, además del mapa de USV y el DEM, el mapa ráster de flujo rápido superficial derivado del modelo de rendimiento hídrico estacional. Otro insumo clave para el modelo es la tabla biofísica, la cual contiene la información correspondiente a las cargas de nutrientes estimadas para cada una de las clases de USV (Tabla 6, **Anexo 6**). Los valores asignados en esta tabla (cargas de N y P) se deben calcular con base en la información recopilada a través de las entrevistas dirigidas a los diferentes productores asentados en la cuenca. En el caso de la cuenca “La Antigua” se entrevistó a un total 13 productores utilizando el formato del Anexo 3. De esta forma, y con base en la información específica de las dosis y productos utilizados para la fertilización de los cultivos, se calcularon las cargas de N (load_n) y P (load_p) (ecuación 4):

$$(4) \quad \text{load}_n(\text{load}_p) = \frac{\text{Export from Land}}{1 - \text{Eff}_n(\text{Eff}_p)} \quad \begin{array}{l} \text{Export from Land} = \text{valor de exportación medido (o derivado empíricamente)} \\ \text{Eff}_n/\text{Eff}_p = \text{eficiencia de retención máxima para cada clase de USV.} \end{array}$$

Las cargas de nutrientes que no sean posibles calcular con la información derivada de las entrevistas, se recomiendan obtener a partir de los valores sugeridos en la guía de InVEST (Sharp et al., 2018), las agendas tecnológicas agrícolas a nivel estatal para México (INIFAP, 2018) y revisiones de literatura.

En el caso de la cuenca La Antigua estas consideraron los presente en Benez-Secanho and Dwivedi, (2019); Han et al., (2021); Hou et al., (2020); y, Wu et al., (2021).

7.1.4. Resumen de parámetros biofísicos (modelos InVEST)

Los parámetros biofísicos y las diferentes fuentes de información requeridas por cada uno de los módulos se resumen en la Tabla 8. Descripciones más detalladas de cada uno de los modelos se pueden consultar desde el manual de usuario de la herramienta InVEST (Sharp et al., 2018) y publicaciones complementarias (Hamel et al., 2020; Hamel and Guswa, 2015; Redhead et al., 2016; Terrado et al., 2014; Wu et al., 2021)

Tabla 8. Parámetros biofísicos requeridos para cada uno de los modelos InVEST utilizados en los PAMIC.

Datos	Rendimiento hídrico anual	Rendimiento hídrico estacional	Pérdida potencial del suelo	Transporte potencial de nutrientes (N y P)	Fuente
Delimitación de cuencas y subcuencas	◆	◆	◆	◆	INEGI-INE-CONAGUA, (2007); INEGI, (2010). Delimitación de subcuencas con base en FIRCO-UAQ, (2005) y análisis de la red de flujo superficial (<i>Quick flow, Seasonal water yield</i>).
Uso de suelo y vegetación	◆	◆	◆	◆	Clasificación con base en la comparación de INEGI, (2017), NALCMS, (2015); INEGI-CONAFOR-CONABIO-SEMARNAT, (2018); Imágenes satelitales (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), revisiones bibliográficas (Espinoza-Guzmán et al., 2020) resultados de los talleres de mapeo participativo.
Modelo de Elevación Digital (DEM)		◆	◆	◆	Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 3.0. INEGI, 2013) (30 m)
Promedio de precipitación anual/mensual (1981-2010)	◆	◆			Climatologías mensuales promedio con datos del SMN (UNIATMOS-UNAM, 2020) (926 m)
Promedio de evapotranspiración anual/mensual (1981-2010)	◆	◆			Ecuación modificada de Hargreaves (Droogers and Allen, 2002), (UNIATMOS-UNAM, 2020), FAO, (2006).
Fracción de agua disponible para las plantas	◆				SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. Soil water capacity (volumetric fraction), (ISRIC, 2017).
Profundidad de restricción para el crecimiento de las raíces	◆				SoilGrids250m: Absolute depth to bedrock. Global gridded soil information based on machine learning (ISRIC, 2017).
Grupo hidrológico de suelo		◆			Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling (Ross et al., 2018)
Tabla de eventos de lluvia (Zonificación climática)		◆			Normales climatológicas de estaciones ubicadas en las cuencas (SMN, 2022)
Erodabilidad del suelo (Factor K)			◆		Conjunto de datos vectorial edafológico, Escala 1:250000 Serie II. (Continuo Nacional, INEGI, 2013).
Erosividad pluvial (Factor R)			◆		Precipitación Media Mensual (1980-2010)-PMA y ecuación regional de erosividad (Montes-León et al., 2011).
Flujo superficial				◆	InVEST- Flujo rápido (<i>Quick flow, Seasonal water yield</i>)

7.1.5. Mapa de uso de suelo y vegetación (USV)

Un elemento clave para la modelación de los SE considerados en los PAMIC es el mapa de USV. Por lo tanto, la clasificación adecuada de las coberturas (p.ej. distribución espacial de los diferentes tipos de cultivos o vegetación) permitirá obtener simulaciones más cercanas a las dinámicas territoriales.

El proceso de actualización o elaboración de los PAMIC en el marco del proyecto CONECTA ha incluido información de mayor escala temporal y espacial. Particularmente, la clasificación de las coberturas en los mapas de USV para cada una de las cuencas se determinó a partir de una combinación de recursos geoespaciales actualizados que están disponibles para consulta y descarga pública (INEGI-SEMADET, 2023; INEGI, 2023; NALCMS, 2015; SEMARNAT-CONAFOR, 2023). No obstante, en este paso se pueden utilizar diferentes métodos para clasificar coberturas dependiendo de la disponibilidad de datos, los objetivos del proyecto y las limitaciones computacionales (p. ej. análisis de series temporales, redes neuronales convolucionales, clasificación supervisada y no supervisada). A menudo, una combinación de métodos y enfoques puede proporcionar mejores resultados (Campbell et al., 2022).

En este sentido, la elaboración del mapa de USV para la cuenca del RLA (resolución: 30 m) se elaboró con base en los diferentes recursos descritos en la Figura 12. Esta clasificación se validó a través de una matriz de confusión y del índice *kappa*, el cual es un método estadístico que permite evaluar la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos mediante algoritmos de clasificación automática (valor de concordancia óptimo >0.6) (Hernández et al., 2013).

En este paso, es importante mencionar que se llevó a cabo un esfuerzo adicional para clasificar las coberturas agrícolas debido a que la modelación de los SE analizados en los PAMIC está fuertemente asociada con las características de los cultivos predominantes (p. ej. tasas de evapotranspiración de especies perennes o caducifolias) y la aplicación diferenciada de los fertilizantes utilizados. Esta información también validó con referencias bibliográficas, Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a partir de imágenes satelitales recientes (*Google Earth Engine*, 2023), datos del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta- SIACON (SADER-SIAP, 2023) y con los resultados de los mapeos participativos desarrollados en los talleres.

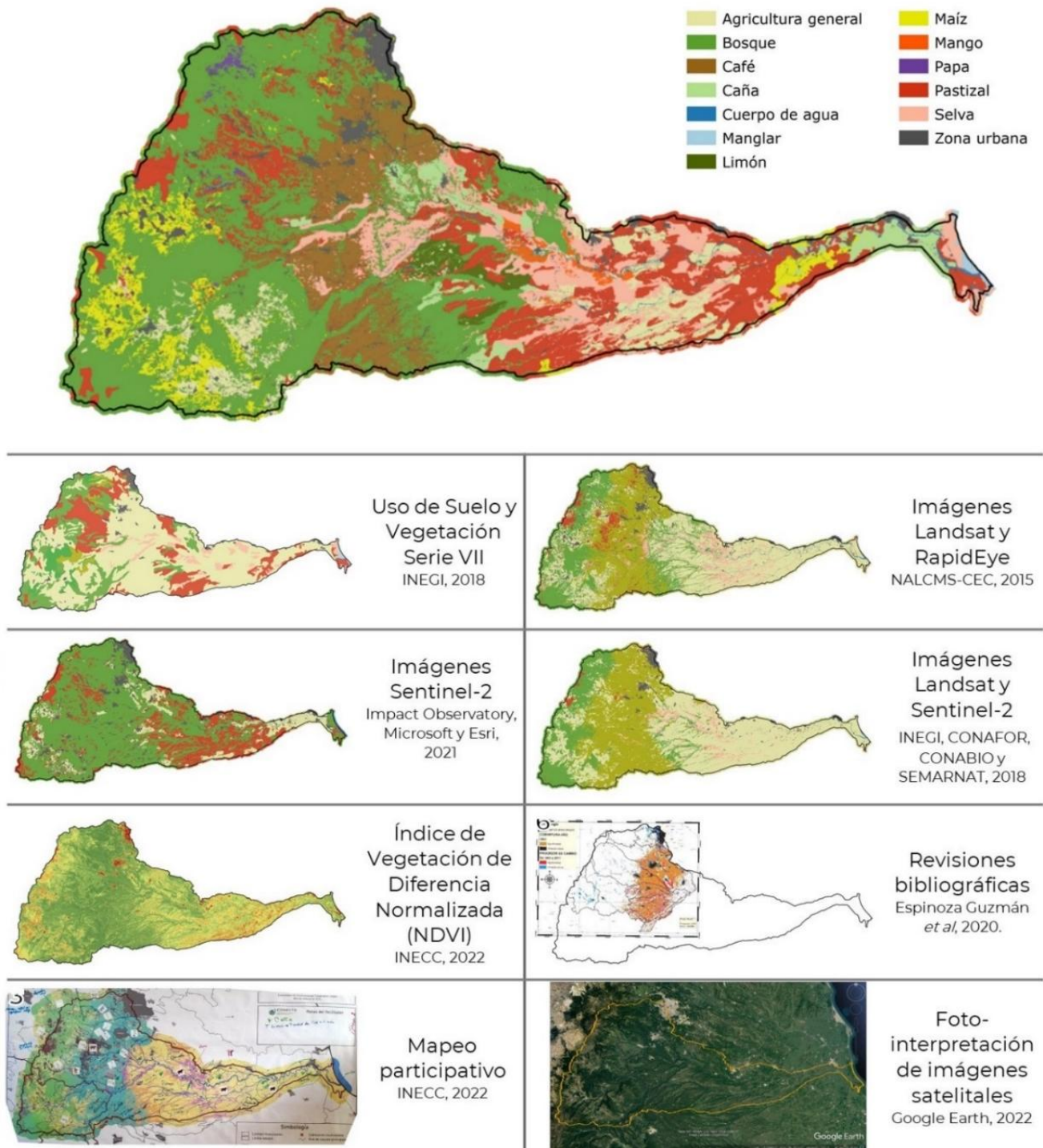


Fig. 12. Recursos utilizados para la elaboración del mapa de uso de suelo y vegetación (USV) de la cuenca del RLA (INECC-FMCN, 2023).

7.2. Demanda de servicios ecosistémicos (SE)

El concepto de SE ofrece un marco útil para la evaluación sistémica de los múltiples beneficios que brindan los ecosistemas. Este enfoque requiere de la identificación de los actores que se benefician o se ven afectados por la manera en la que se distribuyen esos SE, debido a una determinada estrategia de manejo, o por los cambios asociados al clima. Por lo tanto, vincular los SE con los actores clave, incluyendo sus intereses y problemáticas es esencial para una gestión eficaz, equitativa y sostenible (Raum, 2018).

En este sentido, la demanda o uso de SE por parte de los diferentes usuarios o beneficiarios distribuidos en las cuencas se analizará considerando dos indicadores:

- 1) Volumen de agua superficial y subterránea extraída por subcuenca (hm^3) con base en la información las concesiones y asignaciones inscritas en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDa, (CONAGUA, 2021) (Tabla 9).

Tabla 9. Clasificación en los PAMIC de los usos y volúmenes descritos en el REPDa.

Demanda	Clasificación (REPDa)
Uso agropecuario	Agrícola, acuícola, pecuario, múltiples, otros
Uso público y de servicios	Doméstico, uso público-urbano, industrial, servicios, comercio.
Uso no consuntivo	Energía hidroeléctrica

- 2) Densidad poblacional por subcuenca (habitantes/ km^2). La delimitación de la población en cada una de las cuencas y subcuencas se llevará a cabo con base en el Marco Geoestadístico y el último censo de población y vivienda (INEGI, 2020). Este análisis incluye las bases de datos a nivel de comunidad, áreas geoestadísticas básicas (AGEB) y manzanas urbanas para poder desagregar los asentamientos urbanos y rurales compartidos entre subcuencas (SCITEL-INEGI, 2020).

La integración de los dos indicadores para la identificación de subcuencas con mayor demanda y mayores volúmenes de agua extraídos, requiere de geoprocésamiento para la reclasificación de las clases con base en una división por cuartiles (Fig. 13).

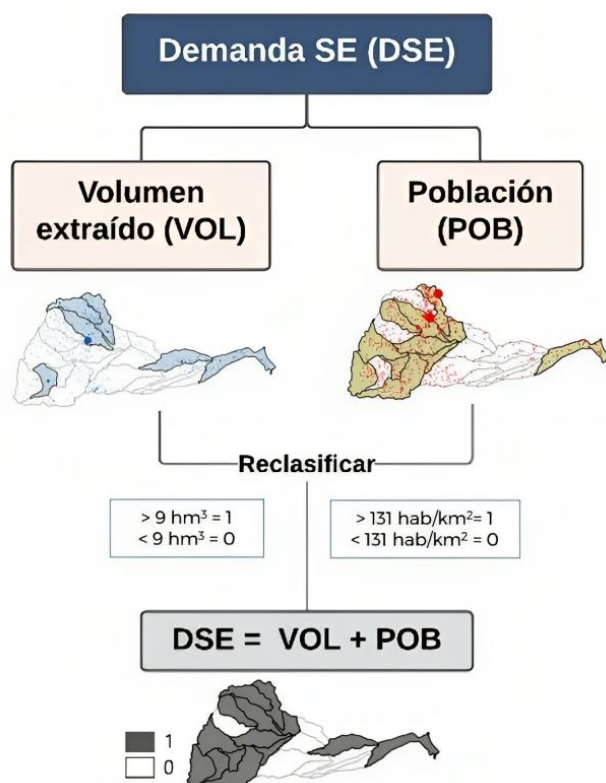


Fig. 13. Esquema de integración y análisis para la identificación de las subcuencas (resaltadas en color oscuro) con mayores volúmenes de extracción de agua y densidad poblacional.

7.3. Conectividad hidrográfica

La conectividad hidrográfica se refiere a la vinculación entre las subcuencas en función de la red de drenaje superficial. En los PAMIC esta delimitación se llevó a cabo con base en el Mapa Nacional de Microcuencas (FIRCO-UAQ, 2005). No obstante, en cuencas áridas o semiáridas podría ser importante considerar una delimitación por regiones hidrogeológicas, que incluya la distribución de los acuíferos.

Con base en el análisis de la red hidrográfica o el mapa de escorrentía superficial derivado del módulo de rendimiento hídrico (InVEST), las subcuencas se pueden clasificar en tres categorías (Fig. 14):

- 1) **Emisoras:** subcuencas de captación, frecuentemente ubicadas en las partes altas, donde emergen los ríos o se forman los cauces por el deshielo de la nieve en las montañas; y cuyos flujos de agua continúan hacia la parte media y baja de la cuenca.
- 2) **Receptoras-Emisoras:** subcuencas que reciben el agua superficial a través de los cauces originados en las subcuencas emisoras, y mantienen los flujos hasta su desembocadura en la parte más baja de la cuenca.
- 3) **Receptoras:** subcuencas ubicadas en la parte más baja de la cuenca donde desembocan todos los cauces de la red de drenaje superficial.

Una vez que se clasificaron las subcuencas, el siguiente paso es identificar las subcuencas con mayor conectividad con base en un análisis de redes sociales. En este caso, se utilizó el programa de cómputo UCINET 6 (Borgatti et al., 2002) para calcular dos principales medidas de centralidad:

- 1) Grado: número de vínculos directos que tiene cada uno de los nodos.
- 2) Intermediación: número de veces que un nodo se interpone entre otros en su distancia geodésica.

Además de UCINET 6, existen varios programas y herramientas para el análisis de redes, cada uno con sus propias características y enfoques (p. ej. *Pajek*, *Gephi*, *NetworkX*, *igraph*, *SNAP*, *NodeXL*). Información detallada acerca de la aplicación de análisis de redes, teoría de grafos y medidas de centralidad se puede consultar en Albert-László, (2015), Borgatti et al. (2013) y Paniagua López, (2012)

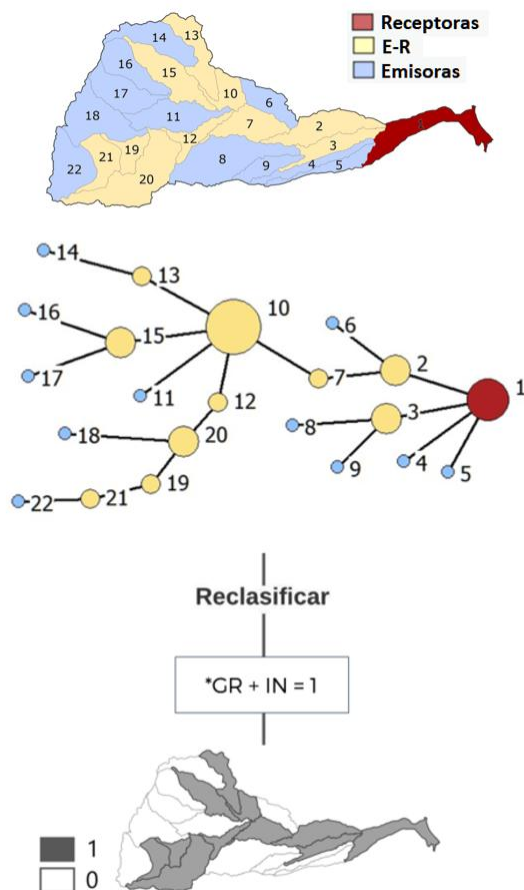


Fig. 14. Esquema de integración y análisis para la identificación de subcuencas (resaltadas en color oscuro) con mayor conectividad. Los colores del gráfico de la red de nodos corresponden a la clasificación de subcuencas, mientras que el tamaño del nodo está en función de su grado e intermediación.

Paso 8. Elaborar escenarios para la evaluación de impactos futuros o alternativos

Considerando las crecientes presiones humanas relacionadas con los cambios de uso de suelo y vegetación, así como el cambio climático a nivel global, el uso de escenarios alternativos representa un proceso de evaluación relevante para analizar los impactos potenciales de las diferentes actividades humanas, incluyendo estrategias de conservación o restauración (Gao et al., 2017).

Por ejemplo, se ha demostrado que la presencia de los bosques tiene un efecto positivo en el funcionamiento hidrológico (Laino-Guanes et al., 2016), sin embargo, todas las características biofísicas de un ecosistema (p.ej. clima, suelo, pendiente, tipo de vegetación, altitud) pueden afectar la provisión de los SE (Brauman et al., 2007). Ante esta situación, la modelación de escenarios es una herramienta útil para identificar pérdidas y ganancias de SE debido a los efectos acumulativos de los cambios de uso de suelo, así como para analizar los impactos potenciales del cambio climático o las posibles intervenciones de reforestación o restauración, incluyendo sus limitaciones y beneficios a diferentes escalas (Gao et al., 2017).

El objetivo de la definición de escenarios es conceptualizar experimentos de modelación para la evaluación de resultados. Para lograrlo es necesario definir un diferencial que cuantifique el valor adicional de los beneficios o posibles consecuencias de las intervenciones simuladas a través de la comparación de escenarios futuros plausibles. La variable temporal y los supuestos del estado futuro son determinantes en esta conceptualización.

8.1. Escenarios de cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), define el cambio climático como el: *“cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”*, así la CMNUCC diferencia, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2018).

Los escenarios de cambio climático son representaciones plausibles del clima futuro ante diferentes tasas de emisiones de gases de efecto invernadero, que brindan información sobre la evolución de las condiciones climatológicas, pero que están sujetas a esquemas de probabilidad condicional ante diversas posibilidades de desarrollo y las modificaciones humanas de la naturaleza (INECC, 2022; IPCC, 2022a).

En los PAMIC, estos escenarios son un elemento clave para el desarrollo de planes y estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático. Por lo tanto, los escenarios de cambio climático incorporan las proyecciones del Proyecto de Intercomparación de Modelos de Acoplados (CMIP6-

Coupled Model Intercomparison Project) derivadas del Sexto Informe de Evaluación (AR6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021).

Las proyecciones desarrolladas en el CMIP6 incluyen un mayor número de grupos de modelación, de escenarios futuros, de experimentos realizados y de diferencias en la sensibilidad climática (calentamiento esperado a largo plazo después de duplicar las concentraciones de CO₂ atmosférico) en comparación con el proyecto antecesor (CMIP5) (INECC, 2022).

Los escenarios actualizados en el CMIP6 se denominan “Trayectorias Socioeconómicas Compartidas” (*Shared Socioeconomic Pathways-SSPs*), las cuales representan diferentes niveles de forzamiento radiativo y ofrecen una selección más amplia de futuros socioeconómicos posibles (Fig. 15).

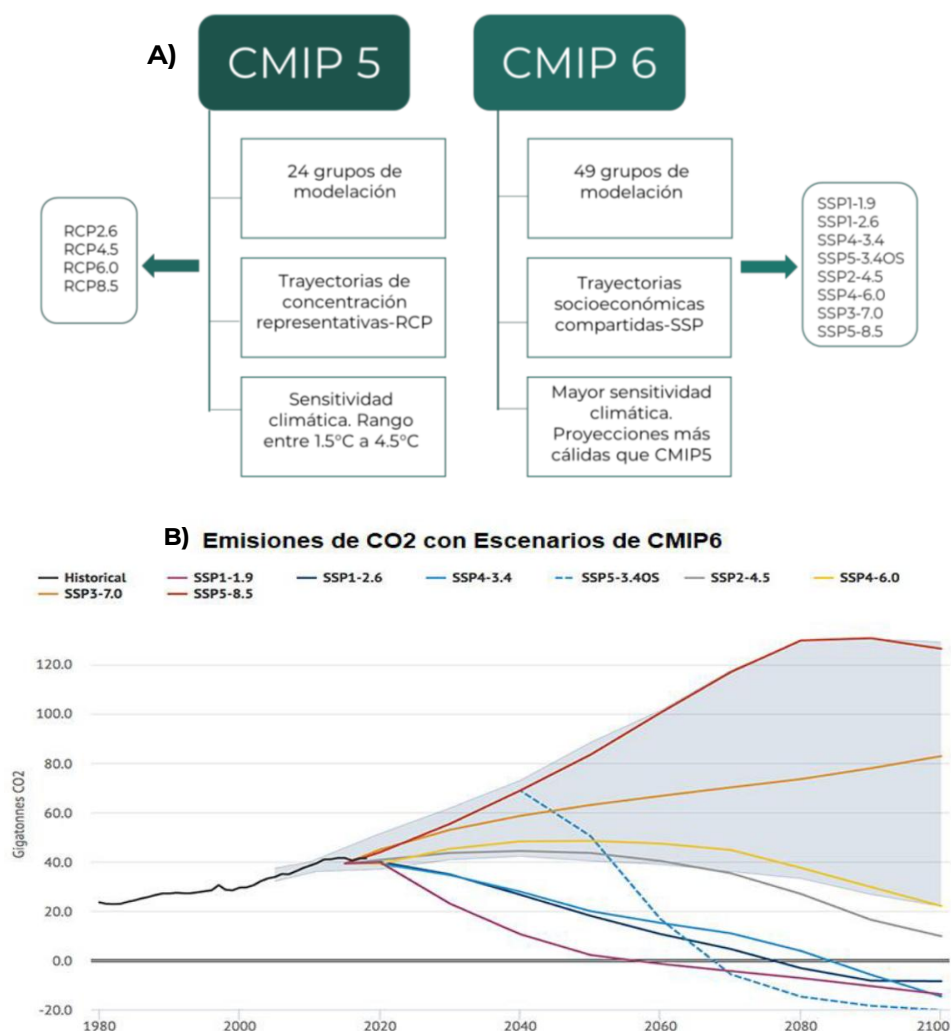


Fig. 15. Principales diferencias entre CMIP5 y CMIP6 (INECC, 2022). B) Escenarios futuros de emisiones de CO₂ descritos en CMIP6, incluyendo emisiones históricas de CO₂ (en color oscuro). El área sombreada representa el intervalo de escenarios de referencia sin políticas (Hausfather, 2019).

De acuerdo con lo anterior, los PAMIC incorporan las proyecciones del **escenario SSP5-8.5 a un horizonte medio (2041-2060)** considerando anomalías climáticas (desviación de una variable a partir de su valor promediado en un periodo de referencia). La información geoespacial se descarga y procesa a partir del Atlas Interactivo del IPCC, (2022b) y las bases de datos de UNIATMOS-UNAM, (2022).

8.2. Escenarios de usos de suelo y vegetación

Además de la incorporación de las proyecciones de cambio climático, la evaluación de impactos potenciales sobre los SE se complementa con la construcción de escenarios futuros que simulan cambios de uso de suelo y vegetación. Estos escenarios se construyen con base en la recopilación y análisis de información primaria y secundaria.

Por ejemplo, para la simulación de las intervenciones prioritarias en la cuenca del RLA (paso 4) se consideró tanto el análisis de tendencias históricas (p. ej. aumento tendencial de las zonas urbanas), como las acciones propuestas por las personas que participaron en los dos primeros talleres (p. ej. restauración de franjas de vegetación en Jalcomulco, Veracruz, considerando que ya existen esfuerzos previos e interés local). La información derivada de otros talleres de diagnóstico o iniciativas con información pública disponible también puede ser útil para la construcción de escenarios futuros plausibles (p. ej. el Programa de Ordenamiento Ecológico Local Participativo del Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco).

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se describen como ejemplo, los escenarios simulados para la cuenca del RLA con base en los tres enfoques de los PAMIC (Tabla 10):

- 1) **Conservación:** comparación de los mapas de línea base, considerando las zonas actuales con vegetación natural (bosques, selvas) y áreas naturales protegidas (ANP) versus un escenario de degradación.

Por ejemplo, el escenario de conservación para la cuenca del RLA simuló:

- a) Aumento de las zonas urbanas con base en las tendencias del periodo 2002-2018 (comparación de los mapas de USV de las series III y VII, INEGI, (2018, 2002)
- b) Expansión de la frontera agrícola y pecuaria con base en las tendencias de disminución de las coberturas forestales registradas en el periodo 2000-2021 (Hansen et al., 2013).

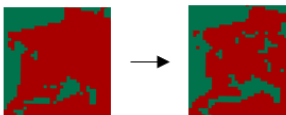
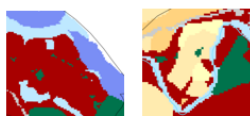
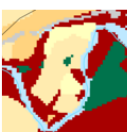
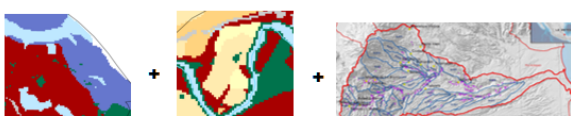
- 2) **Restauración:** comparación de los mapas de línea base versus un escenario en estado restaurado (p. ej. aumentos de las coberturas vegetales o ecosistemas prioritarios como los manglares o humedales).

El escenario de restauración para la cuenca del RLA simuló:

- a) Aumento de las zonas urbanas con base en las tendencias del periodo 2002-2018 (comparación de S. III y S. VII, INEGI, 2018). Se recomienda considerar una menor tasa de crecimiento urbano asumiendo la posible aplicación de instrumentos de planeación territorial.
 - b) Disminución de la frontera agrícola y pecuaria con base en las tendencias de ganancias forestales registradas en el periodo 2000-2012 (Hansen et al., 2013).
 - c) Aumento de la zona de manglar (restauración de aproximadamente 50 ha con base en la información de los talleres participativos) y
 - d) Establecimiento de franjas de vegetación (30 m) en las zonas identificadas por los(as) participantes durante los talleres y en el mapa 39 de la primera versión del PAMIC “La Antigua”.
- 3) **Adecuación de prácticas productivas:** comparación de los mapas de línea base versus un escenario con implementación de proyectos que fortalecen la producción sostenible.
- Para la cuenca del RLA este escenario simuló:
- a) Aumento de las zonas urbanas con base en las tendencias del periodo 2002-2018 (comparación de S. III y S. VII, INEGI, 2018). No obstante, aquí se consideró una menor tasa de crecimiento urbano asumiendo la posible aplicación de instrumentos de planeación territorial.
 - b) Disminución de la frontera agrícola y pecuaria con base en las tendencias de ganancias forestales registradas en el periodo 2000-2012 (Hansen et al., 2013)
 - c) Modificación manual del factor P (tabla biofísica) para el módulo de pérdida potencial de suelos (InVEST). Este factor hace referencia a la aplicación de prácticas de conservación de suelos (p.ej. terrazas, cultivos de ladera, surcado) (Loredo-Osti et al., 2007).
 - d) Simulación de prácticas agroecológicas a través de la disminución de las cargas de nutrientes (N y P) (tabla biofísica asociada a la información de las entrevistas con productores) para el módulo de producción y transporte de sedimentos (InVEST).
 - e) Establecimiento de franjas de vegetación (30 m) en las zonas identificadas por los(as) participantes durante los talleres.

La Tabla 10 resume las simulaciones consideradas para cada uno de los enfoques de los PAMIC. La construcción de escenarios y el geoprocesamiento se llevó a cabo con el uso de la herramienta de InVEST: Generador de escenarios basados en proximidad al límite de un uso de suelo determinado y ArcGIS Pro (ESRI, 2022). El uso de las herramientas adicionales de InVEST se puede consultar directamente en la guía de usuario (Sharp et al., 2018).

Tabla 10. Escenarios de uso de suelo y vegetación (USV) para cada uno de los enfoques de conservación, restauración y adecuación de prácticas en la cuenca del RLA.

Línea base	Conservación	Restauración	Adecuación de prácticas								
Zona urbana  	Aumento con base en las tendencias del periodo 2002-2018 (Serie III y VII de INEGI) 	Aumento con base en las tendencias del periodo 2002-2018 (Serie III y VII de INEGI). Se consideró un menor tasa de crecimiento urbano (aplicación de instrumentos de planeación territorial). 	Aumento con base en las tendencias del periodo 2002-2018 (Serie III y VII de INEGI). Se consideró un menor tasa de crecimiento urbano (aplicación de instrumentos de planeación territorial). 								
Pastizales  	Aumento con base en la pérdida forestal del periodo 2000-2021 (Hansen, 2013) ¹ 	Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales del periodo 2000-2012 (Hansen, 2013) ¹ 	Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales del periodo 2000-2012 (Hansen, 2013) ¹ + modificación en el factor P (prácticas de conservación del suelo: terrazas, cultivos de ladera, surcado. SAGARPA, 2005)  <table border="1"> <thead> <tr> <th>description</th><th>lucode</th><th>usle_c</th><th>usle_p</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PASTIZAL</td><td></td><td>1</td><td>0.5 0.75</td></tr> </tbody> </table>	description	lucode	usle_c	usle_p	PASTIZAL		1	0.5 0.75
description	lucode	usle_c	usle_p								
PASTIZAL		1	0.5 0.75								
Cultivos agrícolas  	Expansión de la frontera agrícola con base en las tendencias del periodo 2002-2018 (Serie III y VII de INEGI) 	Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales del periodo 2000-2012 (Hansen, 2013) ¹ 	Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales del periodo 2000-2012 (Hansen, 2013) ¹ + disminución de cargas de nutrientes aplicados (N y P)  <table border="1"> <thead> <tr> <th>description</th><th>lucode</th><th>load_p</th><th>load_n</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CAFE</td><td>3</td><td>11.5</td><td>28.5</td></tr> </tbody> </table>	description	lucode	load_p	load_n	CAFE	3	11.5	28.5
description	lucode	load_p	load_n								
CAFE	3	11.5	28.5								
Restauración de manglar y sistemas riparios  	Sin cambios 	Aumento de manglar + establecimiento de franjas de vegetación (30 metros) en zonas identificadas por actores locales (talleres participativos y mapa no. 39 del PAMIC VI) 	Establecimiento de franjas de vegetación (30 metros) en zonas identificadas por actores locales (talleres participativos) 								

Paso 9. Reportar la incertidumbre y validar los modelos

La incertidumbre se refiere a la aleatoriedad o el error proveniente de información desconocida o de diferentes variables aproximadas. Esta incertidumbre también está asociada con los errores de aproximación o errores numéricos en el cálculo de las ecuaciones del modelo, en comparación con los valores reales o teóricos esperados (Ochoa-Tocachi et al., 2022).

Algunos análisis de incertidumbre permiten reportar el efecto de los posibles errores de aproximación inherentes a cualquier modelo, en función de la probabilidad. De esta forma, se puede estimar cuál es el resultado más probable y cuál es el intervalo de variabilidad determinado con cierto nivel de confianza (generalmente del 90 % o del 95%).

Por ejemplo, los enfoques frecuentistas corresponden a la interpretación de la probabilidad de un evento como el límite de su frecuencia relativa después de múltiples repeticiones. Bajo esta interpretación, las probabilidades se determinan en torno a experimentos o muestras aleatorias. Con base en este enfoque, las pruebas de hipótesis determinan si estas últimas pueden ser aceptadas o rechazadas con cierto nivel de significancia estadística, la cual se calcula como la probabilidad de observar algo tan extremo como lo que objetivamente se observó en un experimento (probabilidad conocida como “p-valor” o “*p-value*”), considerando la suposición de que la hipótesis nula es verdadera.

En el caso de los PAMIC, las diferencias significativas entre los resultados de línea base y cada uno de los escenarios a nivel de cuenca y subcuenca se determinan con base en análisis estadísticos aplicados a 50,000 puntos distribuidos en toda la cuenca de manera aleatoria. Se aplican las pruebas de Shapiro (normalidad), Barlett (homocedasticidad), Kruskal Wallis y post-hoc Dunn con un nivel de significancia= 5% ($p < 0.05$). Todo el proceso estadístico y geoespacial se lleva a cabo con el uso de ArcGIS Pro (ESRI, 2022) y el software R (R Core Team, 2022) ([código](#) ). El **Anexo 7** presenta un ejemplo de los resultados de estas pruebas aplicadas a la cuenca del RLA.

Paso 10. Interpretar los resultados para la toma de decisiones, socialización, monitoreo, evaluación y seguimiento

Un enfoque de corresponsabilidad social y territorial para la protección de los ecosistemas y el mantenimiento de sus SE a nivel de cuenca hidrográfica es esencial para analizar y abordar las posibles compensaciones derivadas de las externalidades, tanto positivas como negativas. Estas externalidades o efectos indirectos suelen estar relacionados con los flujos de agua que recorren desde las partes más altas de una cuenca hasta su desembocadura en las partes más bajas.

Además, es importante destacar que los cambios en la provisión de SE pueden tener impactos diferenciados entre las personas asentadas en las cuencas. Esto se debe a que el acceso y la gestión de los recursos pueden estar determinados por acuerdos locales, tipos de tenencia de la tierra, género, etnicidad, condición social o contexto cultural.

Por lo tanto, al considerar estos aspectos sociales y territoriales, se puede promover una gestión más equitativa y participativa, que tome en cuenta las necesidades y perspectivas de las comunidades locales. La corresponsabilidad social implica involucrar a los diversos actores en la toma de decisiones y en la implementación de medidas de conservación y uso sostenible de los recursos hídricos y ecosistemas en la cuenca. Esto es fundamental para lograr estrategias de conservación y mantenimiento de los SE, garantizando que los beneficios sean compartidos equitativamente y con una visión a largo plazo.

Con base en lo anterior, en este último paso se generan las bases para la construcción de una agenda ambiental, la cual tiene como objetivo fortalecer los procesos de gobernanza y la toma de decisiones en la planeación territorial para la provisión y mantenimiento de los SE, considerando una participación corresponsable o de responsabilidad compartida a partir de los siguientes pasos (Fig. 15).

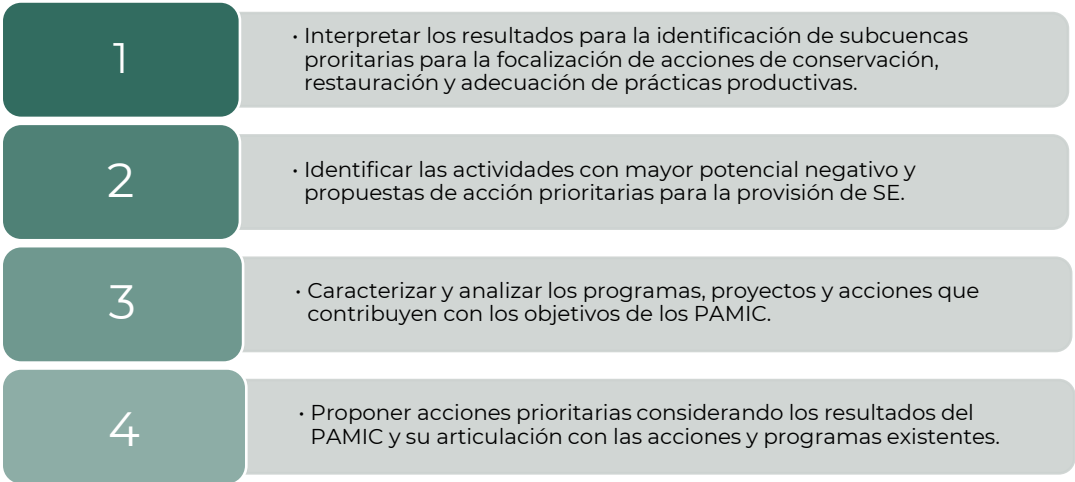


Fig. 16. Esquema metodológico para la construcción de la agenda ambiental de los PAMIC.

1) Interpretar los resultados para la identificación de subcuencas prioritarias para la focalización de acciones de conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas.

La integración de los resultados descritos en los pasos anteriores permite la identificación de subcuencas prioritarias para promover acciones de conservación (Fig. 21), restauración (Fig. 22) y adecuación de prácticas productivas (Fig. 23) de acuerdo con las características descritas en la Tabla 17. La descripción de subcuencas prioritarias para cada una de las acciones se vincula con los resultados del ICSE y brecha de género. Además, se deben enlistar los municipios de incidencia considerando el porcentaje de superficie que ocupan dentro de cada una de las subcuencas.

Fig. 17. Descripción de las subcuencas prioritarias para llevar a cabo actividades de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas (↑ Alta, ↓ Baja).

Subcuencas prioritarias			
Características	Conservación	Restauración	Adecuación de prácticas productivas
Provisión de SE	↑	↓	↓
Demanda de SE	↑	↑	↑
Conectividad hidrográfica	↑	↑	↑
Probabilidad de impactos ante escenarios de cambio climático y USV ¹	↑	↑	↑

¹ Subcuencas con diferencias estadísticamente significativas derivadas de la comparación entre los mapas de línea base y los escenarios simulados en cada uno de los enfoques.

2) Identificar las actividades con mayor potencial negativo y propuestas de acción prioritarias para la provisión de SE

En este paso se retoman los resultados de los dos primeros talleres para identificar las actividades con mayor potencial negativo percibidas por las personas participantes y el listado de actividades prioritarias para la conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas (agroforestería y ganadería) identificadas (Fig. 18). En los **ANEXOS 1 y 2** se incluyen los formatos diseñados para la evaluación de estas actividades.

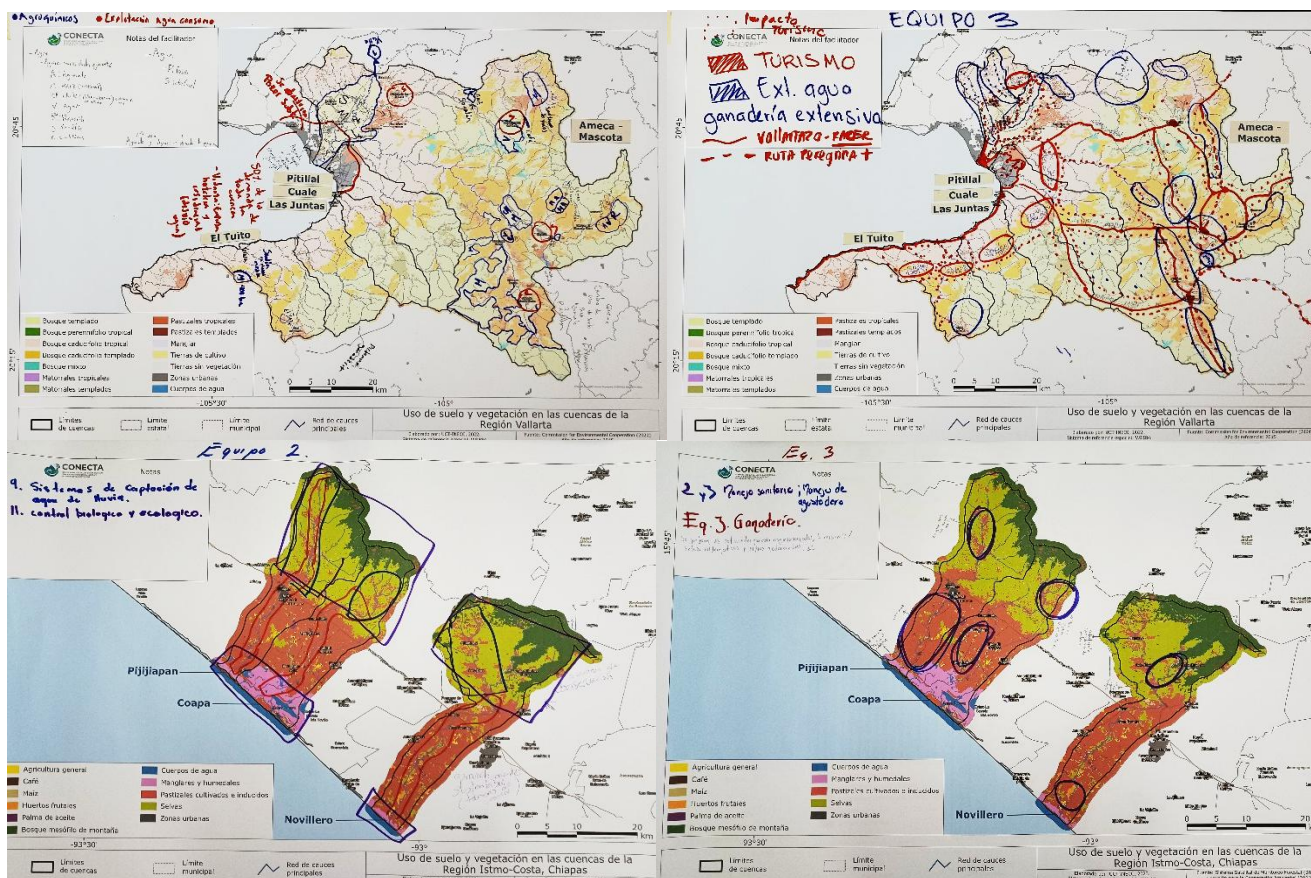


Fig. 18. Ejemplo de los resultados del mapeo participativo en los talleres de la Región Vallarta, Jalisco y la Región Istmo-Costa de Chiapas.

3) Caracterizar y analizar los programas, proyectos y acciones que contribuyen con los objetivos y alcances del PAMIC

En este paso es fundamental revisar iniciativas tanto de los tres órdenes de gobierno como del ámbito no gubernamental. Por ejemplo, las estrategias a nivel federal del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES, CONANP), Pago por Servicios Ambientales (PSA, CONAFOR), Programa de apoyos a pequeños productores, Programa cuencas lecheras (SADER), Sembrando Vida (Secretaría del Bienestar) o cualquier otro tipo de apoyos para el desarrollo sustentable dirigidos a grupos de mujeres productoras. También se recomienda incluir las iniciativas locales de aprovechamiento sustentable, mitigación o adaptación al cambio climático u otras acciones del sector privado, así como la información de los Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) que se hayan hecho previamente o que coincidan con el desarrollo de los PAMIC (p. ej. el POELP del Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco).

La caracterización de estas iniciativas implica distinguir sus municipios de incidencia, objetivos, metas y enfoques de trabajo. La información recopilada para cada una de las cuencas se puede visualizar e interpretar a través de un sociograma. Este análisis de redes permitirá la identificación

de los municipios con mayor y menor número de programas o proyectos, así como su relevancia en la cuenca para el fortalecimiento, promoción o implementación de actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas. Esta información también se complementa con los resultados del segundo taller (Fig. 19).

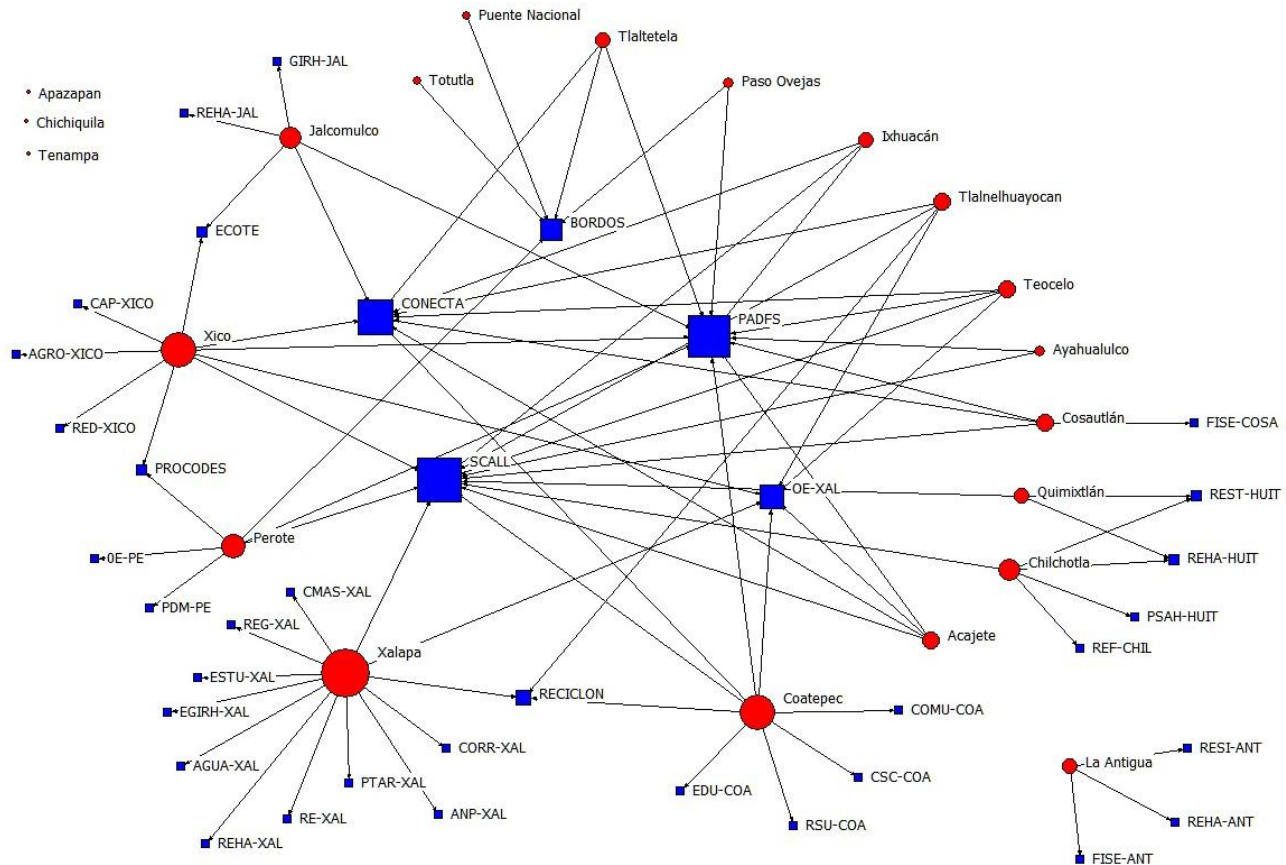


Fig. 19. Ejemplo del sociograma de instituciones con programas vigentes en 2022 (cuadrados en color azul) para los municipios de la cuenca RLA (círculos en color rojo). El tamaño de los nodos corresponde al índice de centralidad (número de vínculos directos).

4) Proponer acciones prioritarias considerando los resultados del PAMIC y su articulación con las acciones y programas existentes.

Este último paso se deriva de la interpretación de los resultados para la priorización territorial de acciones propuestas a nivel de subcuenca, incluyendo sus retos, oportunidades y alternativas asociadas al contexto socio-ecológico (Fig. 20). El objetivo es discutir los principales resultados y conclusiones, identificando potenciales sinergias, áreas de oportunidad con las acciones ya existentes y perspectivas a futuro (p.ej. establecer criterios de prelación en los programas de PSA o ajustes en las reglas de operación).

La implementación de las acciones propuestas en la Agenda Ambiental de los PAMIC debe estar en completa concordancia con el marco legal y normativo, tanto a nivel federal como local. En particular, las acciones sugeridas dentro de los límites de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), tanto a nivel federal como estatal, deben tener en cuenta los programas de manejo vigentes y contar con la debida autorización de la autoridad correspondiente, de acuerdo con los objetivos y enfoque de cada actividad.

Por último, es imperativo evitar cualquier actividad que conlleve el reasentamiento de las comunidades locales o poblaciones indígenas, así como aquellas que puedan perjudicar o restringir el acceso a sus territorios y recursos naturales. Además, se deben prevenir actividades que puedan tener impactos negativos sobre el patrimonio cultural, así como aquellas que sean relevantes para la identidad, los aspectos culturales, ceremoniales o espirituales de la vida de estos pueblos.

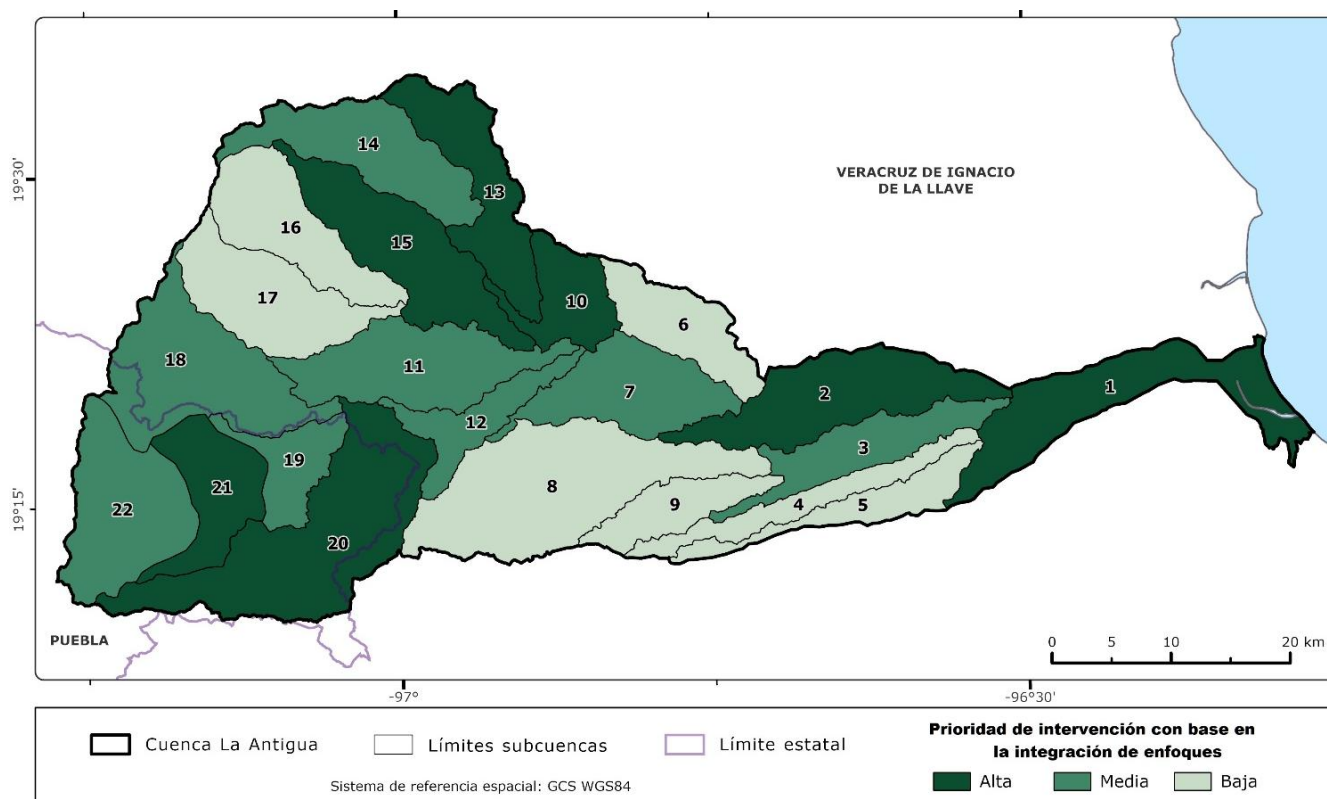


Fig. 20. Ejemplo del mapa de priorización de subcuencas para la agenda ambiental con base en la integración de enfoques para focalizar actividades de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas en la cuenca del RLA (Figs. 21-23).

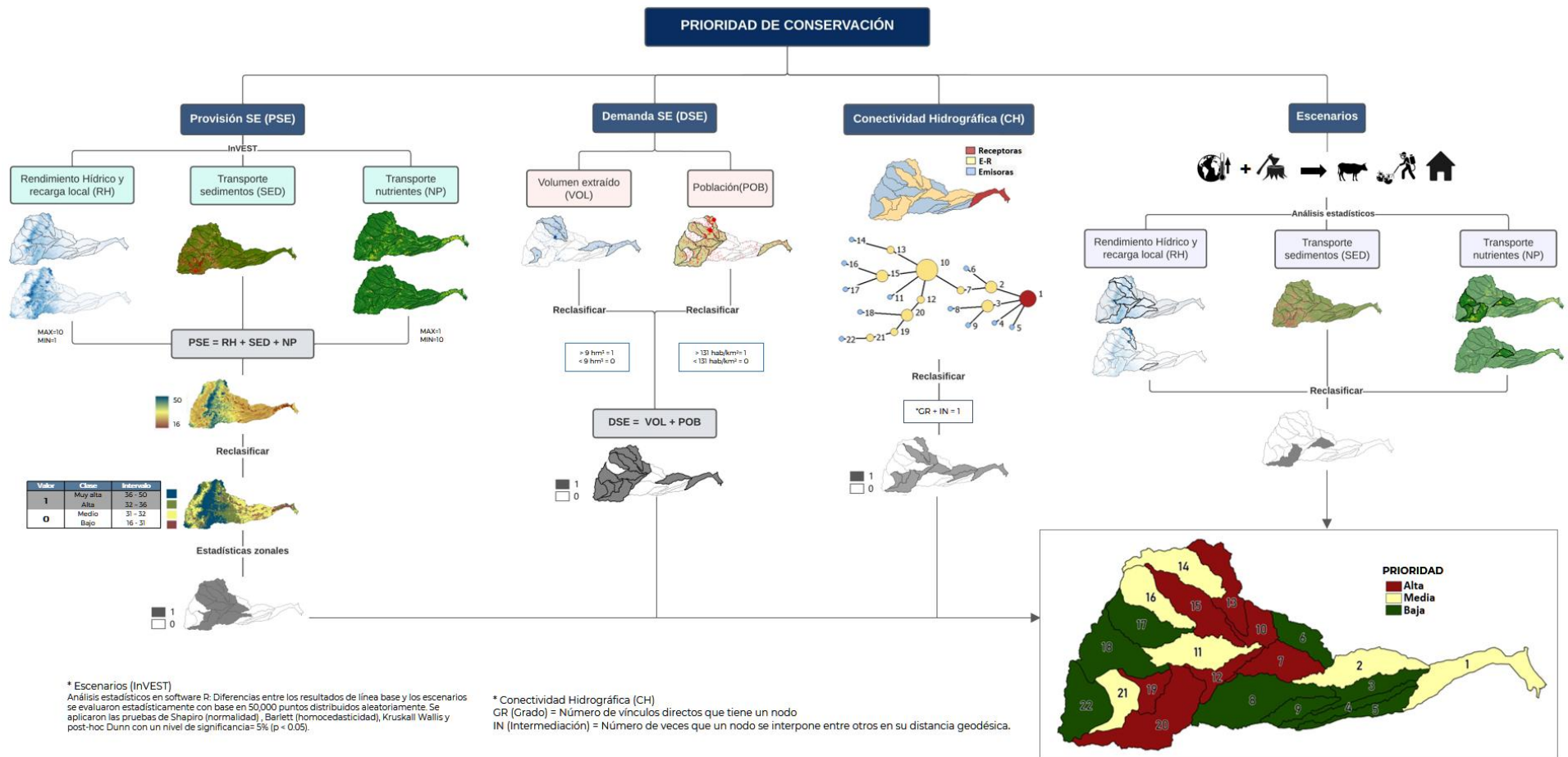


Fig. 21. Ejemplo del esquema de integración y análisis para la priorización territorial: identificación de subcuencas prioritarias para la implementación de acciones de conservación en la cuenca del RLA.

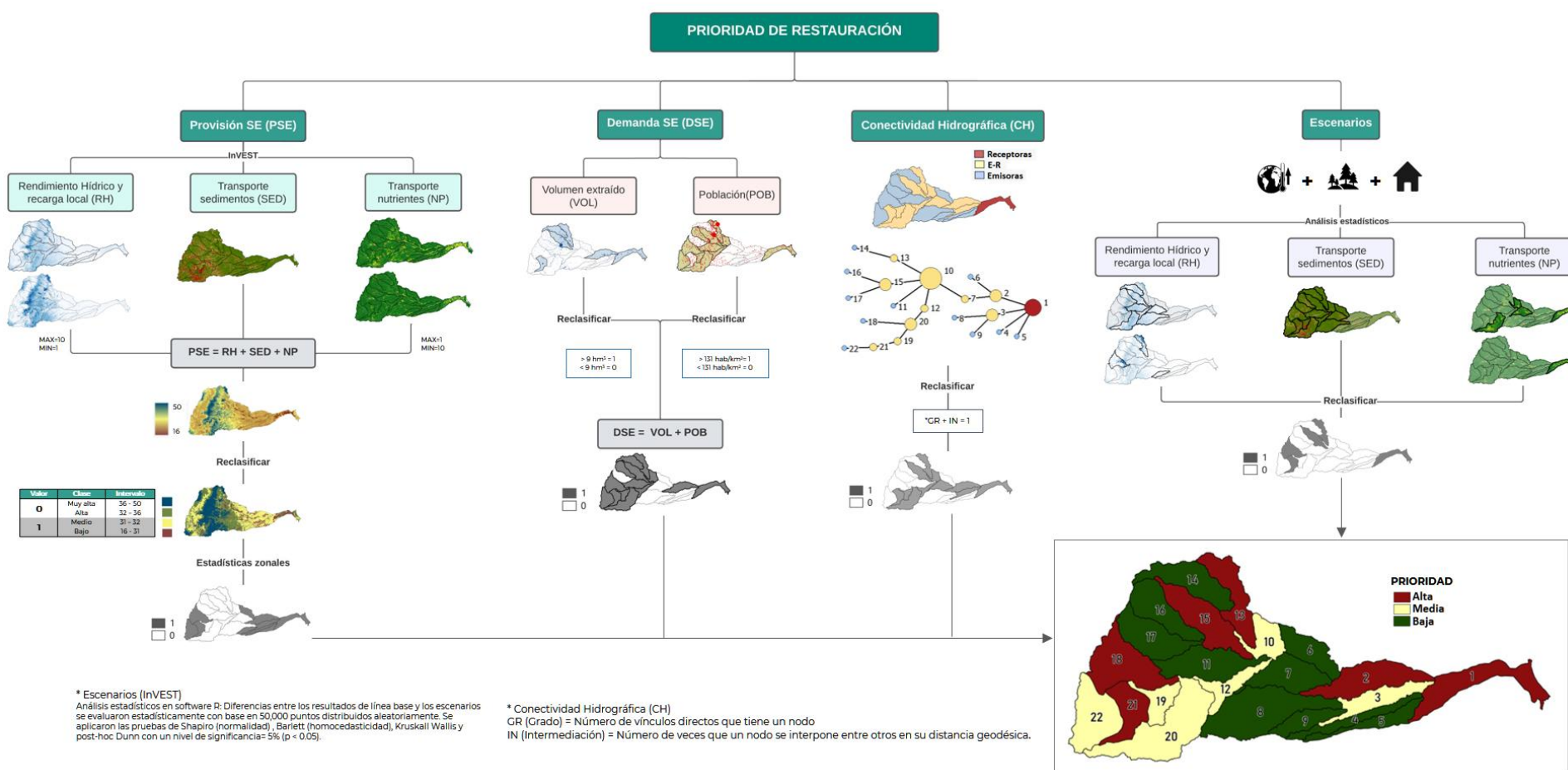


Fig. 22. Ejemplo del esquema de integración y análisis para la priorización territorial: identificación de subcuencas prioritarias para la implementación de acciones de restauración o rehabilitación en la cuenca del RLA.

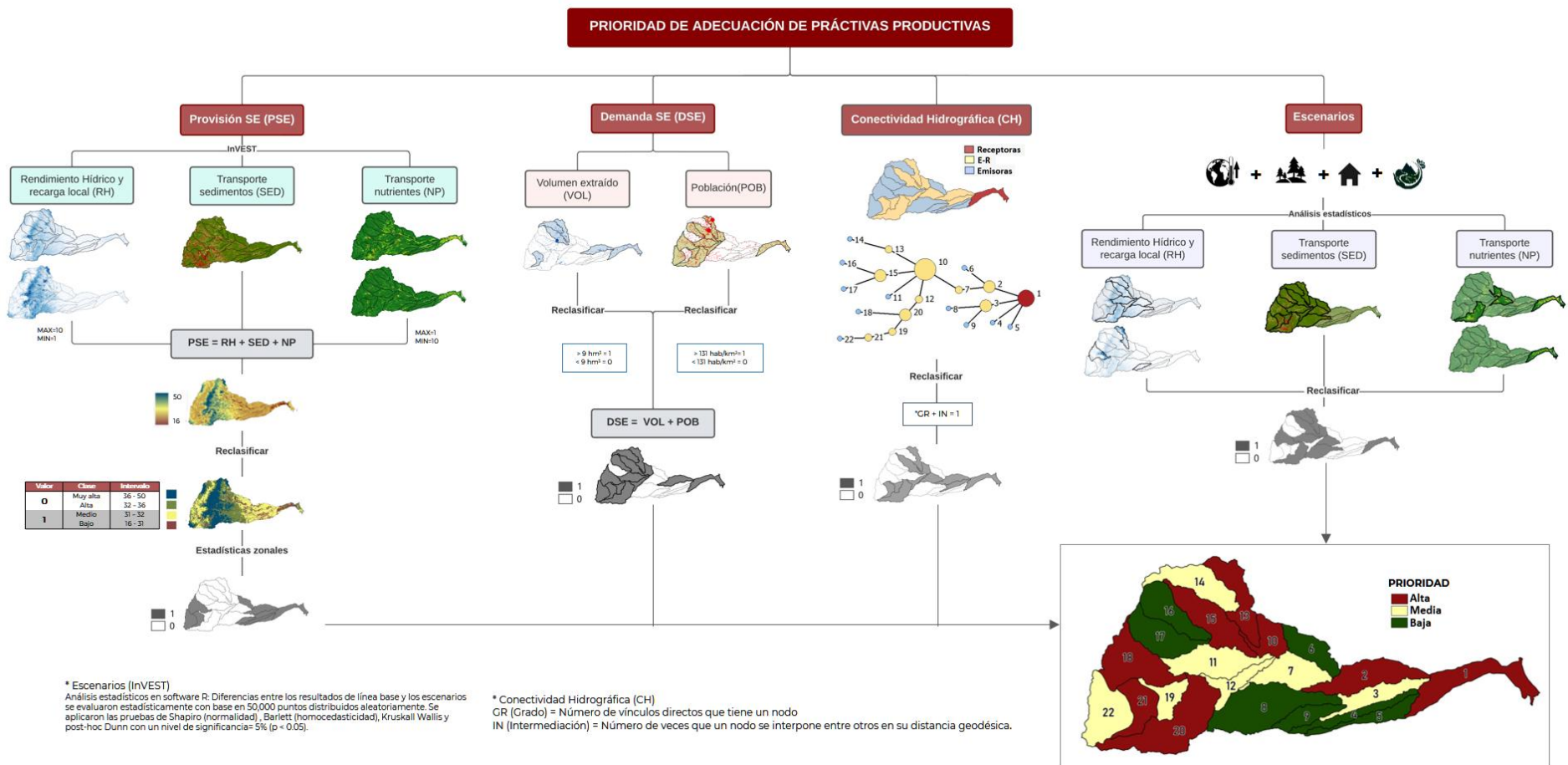


Fig. 23. Ejemplo del esquema de integración y análisis para la priorización territorial: identificación de subcuencas prioritarias para la implementación de acciones de restauración o rehabilitación en la cuenca del R

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La metodología actualizada de los PAMIC identifica y analiza las características socio-ecológicas e interconexiones entre las unidades territoriales (subcuencas) con base en la relación de oferta (provisión) y demanda (personas usuarias o beneficiaras) de servicios ecosistémicos (SE) relevantes, incorporando a su vez, escenarios de cambio climático y cambios potenciales de uso de suelo y vegetación. El proceso metodológico se describe paso a paso con la finalidad de que se pueda replicar, adaptar o complementar con otros enfoques o herramientas de análisis (p.ej. valoración económica de SE o estudios de agua subterránea en cuencas áridas o semiáridas).

El uso de una combinación de diferentes modelos o enfoques puede mejorar la robustez e interpretación de los resultados de simulación en comparación con el empleo de modelos individuales. Por ejemplo, ante la incertidumbre sobre la representatividad de un único modelo en relación a la realidad local, es posible utilizar varios modelos y analizarlos en conjunto para obtener un rango más amplio de posibilidades. De esta manera, se aumenta la confianza en los resultados y se proporciona una visión más completa y versátil de las diferentes situaciones que podrían presentarse. En etapas subsecuentes, también será fundamental mantener actualizada la información y complementarla con otros SE relevantes (p.ej. polinización, recreación, almacenamiento y captura de carbono).

Las herramientas de análisis y modelación de SE resultan especialmente útiles cuando los datos observados son escasos o inciertos en la región de interés. No obstante, elegir el modelo adecuado para respaldar la toma de decisiones no es una tarea sencilla, ya que implica considerar diversos elementos: la complejidad de los modelos disponibles, las capacidades técnicas locales, la disponibilidad de recursos y el contexto en el que se tomarán las decisiones, entre otros.

Existe una interdependencia significativa entre la modelación de SE y la generación de datos que juega un papel esencial en el análisis y la gestión efectiva de los recursos hídricos y los ecosistemas. Por ejemplo, el monitoreo y la recolección de datos in situ pueden mejorar los resultados del modelo. Además, el uso de modelos puede contribuir a una mejor comprensión de los procesos y dinámicas de los ecosistemas y a optimizar la recolección de datos.

Por esta razón, las personas encargadas de tomar decisiones deben definir de manera clara los objetivos y alcances de su análisis, evaluar las características específicas de cada modelo en el contexto dado, y realizar una autoevaluación de sus recursos y habilidades técnicas para comprender las necesidades particulares que se deben atender. Esto es fundamental para realizar un enfoque estratégico y consciente al seleccionar la herramienta de modelación adecuada, asegurando así que

se pueda abordar de manera efectiva la incertidumbre de datos y que el modelo elegido esté en función de los objetivos y alcances.

Las personas encargadas de tomar decisiones deben comprender que los modelos no proporcionan soluciones de aplicación inmediata. Particularmente, en todo el proceso de desarrollo y elaboración de los PAMIC es imprescindible considerar de forma adecuada las fuentes de incertidumbre asociadas.

En este sentido, no es posible eliminar completamente la incertidumbre, ya que son una representación simplificada de sistemas reales complejos aplicados al modelo a partir de escenarios contruidos para proyecciones futuras. No obstante, esta guía enfatiza el proceso de reconocer y reportar de forma adecuada la incertidumbre inherente a cualquier modelo para tomar decisiones más conscientes, considerando diferentes escenarios y evaluando las posibles implicaciones y riesgos.

Finalmente, todo el proceso metodológico debe considerar el fortalecimiento e implementación de un componente participativo, reconociendo las diferentes necesidades y capacidades de las personas, con la finalidad de catalizar condiciones de igualdad entre hombres y mujeres. Esto permitirá una planificación más robusta y adaptable, proporcionando una base sólida para la gestión sostenible de nuestras cuencas y sus ecosistemas, con mejores resultados ambientales y sociales a largo plazo.

GLOSARIO

Adaptación al cambio climático. Medidas y ajustes para enfrentar los efectos potenciales del cambio climático y disminuir los daños que ocasiona. El IPCC también lo define como las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos ante los efectos reales o esperados de un cambio climático.

Anomalía climática. Desviación de una variable climática a partir de su valor promediado durante un periodo de referencia.

Asignación. Título que otorga el Ejecutivo Federal, a través de "la Comisión" o del Organismo de Cuenca que corresponda, conforme a sus respectivas competencias, para realizar la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, a los municipios, a los estados o al Distrito Federal, destinadas a los servicios de agua con carácter público urbano o doméstico.

Brechas de género. Son una medida estadística que muestra la diferencia respecto al valor de un mismo indicador para hombres y mujeres. Las brechas de género permiten describir la magnitud de la desigualdad entre hombres y mujeres respecto a acceso y control de recursos económicos, sociales, económicos, políticos, entre otros. Un ejemplo de brecha de género es la diferencia entre el porcentaje de población económicamente inactiva de mujeres y hombres.

Cambio climático. El cambio climático hace referencia a una variación del estado del clima identificable (p. ej., mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante periodos prolongados, generalmente décadas o periodos más largos. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) lo define como "cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables".

Concesión de agua. Título que otorga el Ejecutivo Federal para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, y de sus bienes públicos inherentes, a las personas físicas o morales de carácter público y privado.

Consejos de Cuenca. La Ley de Aguas nacionales (LAN) establece que los Consejos de Cuenca son órganos colegiados de integración mixta para la planeación, realización y administración de las acciones de gestión de los recursos hídricos por cuenca o región hidrológica. Representan instancias de apoyo, concertación, consulta y asesoría entre la CONAGUA y los diferentes usuarios del agua en el país. En ellos convergen los tres órdenes de gobierno, los usuarios particulares y las organizaciones de la sociedad.

Cuenca hidrográfica. Es la unidad del territorio delimitada por un parteaguas o divisoria del agua superficial —línea poligonal formada por los puntos de mayor elevación en dicha unidad—, en donde transcurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. En dicho espacio delimitado por una diversidad topográfica, coexisten los recursos agua, suelo, flora, fauna y otros recursos naturales.

Enfoque sistémico. Es un modelo conceptual que opera sobre los criterios de selección de elementos relevantes, ampliando el campo de significación, a fin de delimitar el objeto de estudio en función del conjunto de interrelaciones que mantiene con la totalidad de lo real y abordando intencionalmente, toda su complejidad.

Externalidades. Una externalidad ambiental se refiere a los efectos indirectos o impactos positivos o negativos que una actividad o proceso económico genera en los ecosistemas.

Gestión integral del agua. Proceso que promueve el desarrollo de políticas públicas en materia de recursos hídricos, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

Ley de Aguas Nacionales (LAN). Ley reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus

disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación, de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Manejo Adaptativo. Proceso de experimentación, aprendizaje y mejora continua que incorpora la incertidumbre como componente fundamental. Se basa en la comprensión de los sistemas socio-ecológicos como complejos y dinámicos: en su administración y gestión siempre contamos con certezas e incertidumbre de diversa naturaleza.

Manejo Integrado del paisaje (MIP). Estrategia de gestión que busca optimizar la utilización de los recursos bioculturales de un territorio. El MIP se basa en la colaboración entre los diferentes actores que intervienen en el territorio (p. ej. los propietarios de tierras, las comunidades locales, las autoridades gubernamentales, las organizaciones de la sociedad civil) y en la gestión sostenible del paisaje, considerando principios de integración, participación, adaptabilidad y sostenibilidad.

Matriz de confusión. Reporte de la correspondencia en clasificaciones de coberturas, construida a partir del análisis de los tipos de cobertura presentes en los puntos de evaluación distribuidos de manera aleatoria en la zona de estudio.

Mitigación del cambio climático. Acciones para reducir las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero a la atmósfera y aumentar su captura y almacenamiento.

Modelo hidrológico. Representación simplificada de un sistema real complejo, bajo principios físicos o matemáticos, el cual simula la evolución del almacenamiento y los flujos de agua, así como las propiedades químicas y físicas potencialmente asociadas en la superficie y el subsuelo.

Ordenamiento ecológico territorial (OET). Instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas con el fin de lograr la protección del ambiente, así como la preservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de estos.

Ordenamiento territorial. Política pública que tiene como objeto la ocupación y utilización racional del territorio como base espacial de las estrategias de desarrollo socioeconómico y la preservación ambiental.

Organismo de Cuenca. Unidad técnica, administrativa y jurídica especializada, con carácter autónomo, adscrita directamente al titular de la CONAGUA, cuyas atribuciones se establecen en la LAN y sus reglamentos, y cuyos recursos y presupuesto específicos son determinados por la CONAGUA.

Órganos auxiliares de Consejos de Cuenca. Comisiones y comités subordinados de los consejos de cuenca que se constituyen con carácter temporal o permanente, a nivel de subcuenca y unidades hidrológicas de menor orden. Se forman para la atención de problemas que por su gravedad o complejidad requieren de acciones específicas o especializadas. Estas son: comisiones de cuenca, que trabajan a nivel de subcuenca; comités de cuenca, cuyo ámbito es la microcuenca; comités técnicos de aguas subterráneas (COTAS), que desarrollan sus actividades en el ámbito de los acuíferos, y comités de playas limpias, que promueven la gestión del agua en las zonas costeras. Asimismo, se conforman al interior de los consejos, los Grupos Especializados de Trabajo (GET) para la atención prioritaria de temas específicos.

Prácticas productivas climáticamente inteligentes: Soluciones propuestas para reorientar los sistemas productivos que soportan la seguridad alimentaria considerando los impactos del cambio climático. Estas actividades deben considerar tres aspectos: 1) incrementar la sustentabilidad de estas actividades promoviendo equitativamente los ingresos, la seguridad alimentaria, el desarrollo económico y el desarrollo social de la población más vulnerable, 2) promover e incrementar la resiliencia ante el cambio climático desde lo local a lo nacional, y 3) reducir y/o evitar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Principio precautorio. Criterio enunciado en diversos tratados y declaraciones internacionales con el objetivo de exigir la adopción de medidas para evitar o reducir un riesgo sobre el cual prevalece incertidumbre científica.

Región hidrológica. Área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos.

Sensitividad climática. Se refiere al calentamiento esperado a largo plazo después de duplicar las concentraciones de CO₂ atmosférico. Es uno de los indicadores más importantes de qué tan severos serán los impactos del calentamiento futuro. Este indicador es algo que surge de las simulaciones físicas y biogeoquímicas dentro de los modelos climáticos; no es algo que se establezca explícitamente por los grupos de modelación.

Servicios ecosistémicos. Son todas aquellas contribuciones, tanto positivas como negativas, derivadas de los sistemas naturales (p.ej. la diversidad de organismos, ecosistemas y sus procesos evolutivos y ecológicos asociados) que tienen efectos en la calidad de vida de las personas. En los marcos normativos de México, la LGEEPA define a los servicios ambientales como “los beneficios tangibles e intangibles, generados por los ecosistemas, necesarios para la supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, y para que proporcionen beneficios al ser humano”.

Unidades ambientales biofísicas. Unidad espacial que ofrece oportunidades para la identificación, la aplicación de opciones de manejo de los recursos naturales y son una herramienta base para la toma de decisiones durante el proceso de planeación. Estas unidades se derivan de la información biofísica y socioeconómica disponible y su dinámica está dada por las intervenciones humanas en el paisaje.

Unidades económicas. Establecimientos (desde una pequeña tienda hasta una gran fábrica) asentados en un lugar de manera permanente y delimitado por construcciones e instalaciones fijas, además se realiza la producción o comercialización de bienes y servicios.

Uso consuntivo. Es aquel en el que el agua, una vez usada, no se devuelve al medio donde se ha captado, ni de la misma manera que se ha extraído.

Uso no consuntivo. Corresponden a los usos que ocurren directamente de las fuentes de agua sin extracción o consumo del recurso (p.ej. el agua utilizada para generar energía eléctrica).

NOTA: El glosario es una compilación de diversas fuentes con el fin de ilustrar los conceptos empleados en este documento, no constituye por tanto definiciones con fuerza legal.

Referencias

- Albert-László, B., 2015. Network Science [WWW Document]. URL <http://networksciencebook.com/> (accessed 7.30.23).
- Ávila-García, D., 2017. Conservación de los lagos de Montebello. Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinación de Estudios de Posgrado. II. Título. III. Serie.
- Ávila-García, D., Morató, J., Pérez, A.I., Santillán-Carvantes, P., Jannice Alvarado, Comín, F.A., 2020. Impacts of alternative land-use policies on water ecosystem services in the Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello watershed, México. *Ecosyst. Serv.* 45, 14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101179>
- Aznar-Sánchez, J.A., Velasco-Muñoz, J.F., Belmonte-Ureña, L.J., Manzano-Agugliaro, F., 2019. The worldwide research trends on water ecosystem services. *Ecol. Indic.* 99, 310–323. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.045>
- Bagstad, K.J., Semmens, D.J., Waage, S., Winthrop, R., 2013. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosyst. Serv.* 5, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.07.004>
- Balvanera, P., Cotler, H., 2007. Los servicios ecosistémicos y la toma de decisiones: retos y perspectivas. *Gac. ecológica número Espec.* 84–85, 117–123.
- Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., Norton, K., 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. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 6059–6086.
- Benez-Secanho, F.J., Dwivedi, P., 2020. Analyzing the provision of ecosystem services by conservation easements and other protected and non-protected areas in the Upper Chattahoochee Watershed. *Sci. Total Environ.* 717, 137218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137218>
- Benez-Secanho, F.J., Dwivedi, P., 2019. Does quantification of ecosystem services depend upon scale (Resolution and extent)? A case study using the invest nutrient delivery ratio model in Georgia, United States. *Environ. - MDPI* 6. <https://doi.org/10.3390/environments6050052>
- Birch, J.C., Thapa, I., Balmford, A., Bradbury, R.B., Brown, C., Butchart, S.H.M., Gurung, H., Hughes, F.M.R., Mulligan, M., Pandeya, B., Peh, K.S.H., Stattersfield, A.J., Walpole, M., Thomas, D.H.L., 2014. What benefits do community forests provide, and to whom? A rapid assessment of ecosystem services from a Himalayan forest, Nepal. *Ecosyst. Serv.* 8, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.03.005>
- Borgatti, S., Everett, M., Freeman, L., 2002. Ucinet 6 for Windows Software for Social Network Analysis. [WWW Document]. Harvard, MA Anal. Technol. - Sci. Res. Publ. URL <http://www.analytictech.com/archive/ucinet.htm> (accessed 10.20.22).
- Borgatti, S., Everett, M., Johnson, J., 2013. Analyzing Social Networks. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Borselli, L., Cassi, P., Torri, D., 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. *Catena* 75, 268–277. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2008.07.006>
- Brauman, K.A., Daily, G.C., Ka'eo Duarte, T., Mooney, H.A., 2007. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>
- Buckingham, S., Le Masson, V., 2017. Understanding climate change through gender relations, in: Buckingham, S., Le Masson, V. (Eds.), <https://doi.org/10.1080/13549839.2018.1496324>. Routledge, pp. 970–972.
- Budyko, M.I., 1974. Climate and Life, Volume 18 - 1st Edition 507 pp.
- Calva, K.G., n.d. Número de curva. Estimación sistematizada y aplicaciones P R E S E N T A UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA.
- Campbell, J., Wynne, R., Thomas, V., 2022. Introduction to Remote Sensing, Sixth Edit. ed. Guilford Press.
- Caro-Caro, C.I., Torres-Mora, M.A., 2015. Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia* 19, 237. <https://doi.org/10.22579/20112629.338>
- Castro Mendoza, I., 2013. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín , México Soil loss estimate by hydric erosion at Madin dam watershed , state of Mexico , Mexico. *Ing. Hidraul. Y Ambient.* XXXIV, 3–16.
- CBD, 2010. COP 10 Decision X/2. Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020.
- Ceccon, E., Martínez-Garza, C., 2016. Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas, Primera. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias; Universidad Autónoma del Estado de Morelos; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México.
- CEPAL, 2000. Etnicidad, “raza”, y equidad en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe [WWW Document].
- Chakraborty, T., Hsu, A., Many, D., Sheriff, G., 2019. Disproportionately higher exposure to urban heat in lower-

- income neighborhoods: a multi-city perspective. *Environ. Res. Lett.* 14, 105003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3b99>
- Colglazier, W., 2015. Sustainable development agenda: 2030. *Science* (80-.). 349.
- CONAGUA, 2023. Sistema Nacional de Información del Agua | SINA [WWW Document]. URL <https://sina.conagua.gob.mx/sina/> (accessed 7.30.23).
- CONAGUA, 2021. Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) [WWW Document]. URL <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx> (accessed 12.1.21).
- Cotler, H., 2007. El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental, 2a ed. SEMARNAT-INE, México.
- Daw, T., Brown, K., Rosendo, S., Pomeroy, R., 2011. Applying the ecosystem services concept to poverty alleviation: the need to disaggregate human well-being. *Environ. Conserv.* 38, 370–379. <https://doi.org/10.1017/S0376892911000506>
- de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L.C., ten Brink, P., van Beukering, P., 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosyst. Serv.* 1, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecol. Econ.* 41, 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., Baste, I.A., Brauman, K.A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., Van Oudenhoven, A.P.E., Van Der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, C.L., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y., 2018. Assessing nature's contributions to people: Recognizing culture, and diverse sources of knowledge, can improve assessments. *Science* (80-.). 359, 270–272. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAP8826/SUPPL_FILE/AAP8826-DIAZ-SM.PDF
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E.S., Ngo, H.T., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K.A., Butchart, S.H.M., Chan, K.M.A., Lucas, A.G., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G.F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R.R., Shin, Y.J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K.J., Zayas, C.N., 2019. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science* (80-.). <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- DOF, 1988. Ley General de Equilibrio Ecológico (LGEEPA). Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión, México.
- Droogers, P., Allen, R.G., 2002. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. *Irrig. Drain. Syst.* 16, 33–45.
- Espinoza-Guzmán, M.A., Sánchez Velásquez, L.R., Pineda López, M. del R., Sahagún Sánchez, F.J., Aragonés Borrego, D., Reyes García, Z.F., Espinoza-Guzmán, M.A., Sánchez Velásquez, L.R., Pineda López, M. del R., Sahagún Sánchez, F.J., Aragonés Borrego, D., Reyes García, Z.F., 2020. Dinámica de cambios en el agroecosistema de cafetal bajo sombra en la cuenca alta de La Antigua, Veracruz. *Madera y bosques* 26. <https://doi.org/10.21829/MYB.2020.2621974>
- ESRI, 2022. ArcGIS Pro 3.0.2.
- Estrada, F., Velasco, J.A., Martínez-Arroyo, A., Calderón-Bustamante, O., 2020. An Analysis of Current Sustainability of Mexican Cities and Their Exposure to Climate Change. *Front. Environ. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00025>
- FAO, 2006. Evapotranspiración del cultivo, Estudio FAO Riego y Drenaje. - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- FIRCO-UAQ, 2005. Programa Nacional de Microcuencas. Fideicomiso de Riesgo Compartido. [WWW Document].
- Fu, B., 1981. On the Calculation of the Evaporation from Land Surface. [WWW Document]. *Chinese J. Atmos. Sci.* 5, 23–31. (In Chinese) .
- Gao, J., Li, F., Gao, H., Zhou, C., Zhang, X., 2017. The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *J. Clean. Prod.* 163, S148–S155. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.049>
- Grêt-Regamey, A., Sirén, E., Brunner, S.H., Weibel, B., 2017. Review of decision support tools to operationalize the ecosystem services concept. *Ecosyst. Serv.* 26, 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.012>
- Grizzetti, B., Lanza, D., Lique, C., Reynaud, A., Cardoso, A.C., 2016. Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environ. Sci. Policy* 61, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>
- Haines-Young, R., Potschin, M.B., 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. *Eur. Environ. Agency* 53.
- Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S., Mueller, C., 2015. A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): Case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. *Sci. Total Environ.* 524–

- 525, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.027>
- Hamel, P., Guswa, A.J., 2015. Uncertainty analysis of a spatially explicit annual water-balance model: Case study of the Cape Fear basin, North Carolina. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 839–853. <https://doi.org/10.5194/HESS-19-839-2015>
- Hamel, P., Riveros-Iregui, D., Ballari, D., Browning, T., Céleri, R., Chandler, D., Chun, K.P., Destouni, G., Jacobs, S., Jasechko, S., Johnson, M., Krishnaswamy, J., Poca, M., Pompeu, P.V., Rocha, H., 2018. Watershed services in the humid tropics: Opportunities from recent advances in ecohydrology. *Ecohydrology* 11, 1–16. <https://doi.org/10.1002/eco.1921>
- Hamel, P., Valencia, J., Schmitt, R., Shrestha, M., Piman, T., Sharp, R.P., Francesconi, W., Guswa, A.J., 2020. Modeling seasonal water yield for landscape management: Applications in Peru and Myanmar. *J. Environ. Manage.* 270, 110792. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110792>
- Han, B., Reidy, A., Li, A., 2021. Modeling nutrient release with compiled data in a typical Midwest watershed. *Ecol. Indic.* 121, 107213. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107213>
- Hansen, M.C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G., 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change, *Science*. American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Haro, A., Mendoza-Ponce, A., Calderón-Bustamante, Ó., Velasco, J.A., Estrada, F., 2021. Evaluating Risk and Possible Adaptations to Climate Change Under a Socio-Ecological System Approach. *Front. Clim.* 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.674693>
- Hausfather, Z., 2019. CMIP6: the next generation of climate models explained - Carbon Brief [WWW Document]. *Clim. Model.* URL <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/> (accessed 10.23.22).
- Hernández, I., Ellis, E., Gallo, C., 2013. Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. *GeoFocus. Int. Rev. Geogr. Inf. Sci. Technol.* 1–24.
- Hou, Y., Ding, S., Chen, W., Li, B., Burkhard, B., Bicking, S., Müller, F., 2020. Ecosystem service potential, flow, demand and their spatial associations: a comparison of the nutrient retention service between a human- and a nature-dominated watershed. *Sci. Total Environ.* 748. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141341>
- INECC-IMTA-INMUJERES, 2019. Incorporación de brechas de género en el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático [WWW Document]. ANVCC. URL https://mapas.inecc.gob.mx/apps/VulnerabilidadBG/fichatecnicagenero_ANVCC.pdf (accessed 11.29.22).
- INECC, 2022. López-Díaz F., Nava Assad Y.S., Rojas Barajas M, González Terrazas D.I. Guía de Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones.
- INECC, 2019. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México, 1º. ed. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- INECC, 2015. Brechas de género por municipio [WWW Document]. Atlas Nac. Vulnerabilidad al Cambio Climático. URL https://mapas.inecc.gob.mx/apps/VulnerabilidadBG/index.html?no_mun=30087 (accessed 11.30.22).
- INEGI-CONAFOR-CONABIO-SEMARNAT, 2018. Mapa Nacional de referencia, cobertura de suelo. Landsat, 30 m. [WWW Document]. Sist. MAD-Mex. URL https://monitoreo.conabio.gob.mx/snmb_charts/descarga_datos_madmex.html (accessed 10.17.22).
- INEGI-INE-CONAGUA, 2007. Cuencas Hidrográficas de México (1:250,000) [WWW Document]. URL https://idegeo.centrogeo.org.mx/layers/geonode%3Aacue250k_07gw_rt/layer_info_metadata (accessed 10.17.22).
- INEGI-SEMADET, 2023. SIGATyCC [WWW Document]. Sist. Inf. Geográfico, Ambient. Territ. y Cambio Climático. URL <http://sigat.semadet.jalisco.gob.mx/mxsig/>
- INEGI, 2023. Uso de suelo y vegetación [WWW Document]. URL <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/> (accessed 7.30.23).
- INEGI, 2022. Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas [WWW Document]. DENUE. URL <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx> (accessed 11.29.22).
- INEGI, 2020. Censo de Población y Vivienda 2020, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI.
- INEGI, 2018. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie VI. [WWW Document]. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>.
- INEGI, 2016. Actualización del Marco Censal Agropecuario [WWW Document]. Programas Inf. Agropecu. y Ejidales. URL <https://www.inegi.org.mx/programas/amca/2016/> (accessed 11.30.22).
- INEGI, 2015. Encuesta Intercensal [WWW Document]. Encuesta intercensal. URL <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/> (accessed 7.17.23).
- INEGI, 2013. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional [WWW Document]. URL <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707> (accessed

- 1.14.22).
- INEGI, 2010. Cuencas hidrográficas. Edición 2.0. [WWW Document]. SIATL v4 | Simulador Flujos Agua Cuencas Hidrográficas. URL https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/ (accessed 10.17.22).
- INEGI, 2007. Censo Ejidal [WWW Document]. URL <https://www.inegi.org.mx/programas/cae/2007/#Documentacion> (accessed 11.30.22).
- INEGI, 2002. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie III [WWW Document]. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>. URL <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/> (accessed 1.14.22).
- INIFAP, 2018. Agendas Tecnológicas | Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias | Gobierno | gob.mx [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/inifap/acciones-y-programas/agendas-tecnologicas> (accessed 10.19.22).
- IPBES, 2019. Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Service. Debating Nature's Value 1–12.
- IPBES, 2016. Summary for policymakers of the methodological assessment of scenarios and models of biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- IPCC, 2022a. AR6 Synthesis Report: Climate Change [WWW Document]. Intergov. Panel Clim. Chang. URL <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> (accessed 10.21.22).
- IPCC, 2022b. IPCC WGI Interactive Atlas [WWW Document]. IPCC Work. Gr. I AR6. URL <https://interactive-atlas.ipcc.ch/> (accessed 10.23.22).
- IPCC, 2021. AR6 Synthesis Report: Climate Change [WWW Document]. Phys. Sci. Basis. URL <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> (accessed 10.23.22).
- IPCC, 2018. Anexo 1: Glosario [WWW Document]. Lent. Glob. 1,5 °C, Inf. Espec. del IPCC sobre los impactos del calentamiento Glob. 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias Corresp. que deberían seguir las emisiones mundiales GEI. URL https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SRI5_Glossary_spanish.pdf (accessed 10.21.22).
- Jujnovsky, J., Ramos, A., Caro-Borrero, Á., Mazari-Hiriart, M., Maass, M., Almeida-Leñero, L., 2017. Water assessment in a peri-urban watershed in Mexico City: A focus on an ecosystem services approach. *Ecosyst. Serv.* 24, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.005>
- Keeler, B.L., Polasky, S., Brauman, K.A., Johnson, K.A., Finlay, J.C., O'Neill, A., Kovacs, K., Dalzell, B., 2012. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 18619–18624. <https://doi.org/10.1073/pnas.1215991109>
- Kim, S.W., Jung, Y.Y., 2020. Application of the InVEST model to quantify the water yield of North Korean forests. *Forests* 11, 1–11. <https://doi.org/10.3390/f11080804>
- Koetse, M.J., Renes, G., Ruijs, A., de Zeeuw, A.J., 2018. Relative price oncrease for nature and ecosystem services in cost-benefit analysis. PBL Netherlands Environ. Assess. Agency. PBL Publ.
- Laino-Guanes, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Bello-Mendoza, R., Jiménez, F., Casanoves, F., Musálem-Castillejos, K., 2016. Human pressure on water quality and water yield in the upper Grijalva river basin in the Mexico-Guatemala border. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 16, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2015.12.002>
- Loredo-Ostí, C., Beltrán, S., Moreno, S., Casiano, M., 2007. Predicción de riesgo a la erosión hídrica a nivel de microcuenca. *Foll. Técnico. INIFAP-CIRNE.* 29, 66.
- Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., Egoh, B., Puydarrieux, P., Fiorina, C., Santos, F., Paracchini, M., Keune, H., Wittmer, H., Hauck, J., Fiala, I., Verburg, P., Condé, S., Schägner, J., Miguel San, J., Estreguil, C., Ostermann, O., Barredo, J., Pereira, H., Stott, A., Laporte, V., Meiner, A., Olah, B., Royo Gelabert, E., Spyropoulou, R., Petersen, J., Maguire, C., Zal, N., Achilleos, E., Rubin, A., Ledoux, L., Brown, C., Raes, C., Jacobs, S., Vandewalle, M., Connor, D., Bidoglio, G., 2013. Mapping and assessment of ecosystems and ecosystem assessments under Action 5 of the Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services An analytical framework for. Publications office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2779/12398>
- Marques, S.M., Campos, F.S., David, J., Cabral, P., 2021. Modelling sediment retention services and soil erosion changes in Portugal: A spatio-temporal approach. *ISPRS Int. J. Geo-Information* 10. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040262>
- Martin-Ortega, J., Ojea, E., Roux, C., 2013. Payments for water ecosystem services in Latin America: A literature review and conceptual model. *Ecosyst. Serv.* 6, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.09.008>
- Martínez-Retureta, R., Aguayo, M., Stehr, A., Sauvage, S., Echeverría, C., Sánchez-Pérez, J.M., 2020. Effect of land use/cover change on the hydrological response of a southern center basin of Chile. *Water (Switzerland)* 12, 1–21. <https://doi.org/10.3390/w12010302>
- Mass, J., 2012. El manejo sustentable de socioecosistemas, in: Juan Pablos Editor (Ed.), *Cambio Climático y Políticas de Desarrollo Sustentable*. México, pp. 267–290.
- MEA, 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington,

DC.

- Montes-León, M.A.L., Uribe-Alcántara, E.M., García-Celis, E., 2011. Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnol. y Ciencias del Agua* 2, 5–17.
- Mulligan, M., 2013. WaterWorld: A self-parameterising, physically based model for application in data-poor but problem-rich environments globally. *Hydrol. Res.* 44, 748–769. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.217>
- Mulligan, M., Burke, S.M., Sáenz-cruz, L.L., van Soesbergen, a., 2010. A review of methods and tools for modelling freshwater service flows 1–109.
- NALCMS, 2015. Land Cover 30m, 2015 (Landsat and RapidEye). Edition 2. [WWW Document]. North Am. L. Chang. Monit. Syst. . URL <http://www.cec.org/north-american-environmental-atlas/land-cover-30m-2015-landsat-and-rapideye/> (accessed 10.17.22).
- Nicholson, E., Mace, G.M., Armsworth, P.R., Atkinson, G., Buckle, S., Clements, T., Ewers, R.M., Fa, J.E., Gardner, T.A., Gibbons, J., Grenyer, R., Metcalfe, R., Mourato, S., Muûls, M., Osborn, D., Reuman, D.C., Watson, C., Milner-Gulland, E.J., 2009. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *J. Appl. Ecol.* 46, 1139–1144. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01716.x>
- Ochoa-Tocachi, B.F., Cuadros-Adriazola, J., Arapa Guzman, E., Aste Cannock, N., Ochoa-Tocachi, E., Bonnesoeur, V., 2022. Guía de modelación hidrológica para la infraestructura natural. Lima Perú.
- ONU, 2021. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [WWW Document]. Agenda 2030. URL <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> (accessed 4.19.21).
- ONU, 2018. Marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.
- Pandeya, B., Buytaert, W., Zulkafli, Z., Karpouzoglou, T., Mao, F., Hannah, D.M., 2016. A comparative analysis of ecosystem services valuation approaches for application at the local scale and in data scarce regions. *Ecosyst. Serv.* 22, 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.015>
- Paniagua López, J.A., 2012. Curso de análisis de redes sociales: metodología y estudios de caso.
- Peh, K., Balmford, A., Bradbury, R.B., Brown, C., Butchart, S.H.M., Hughes, F.M.R., Stattersfield, A.J., H.L.Thomas, D., Walpole, M., Bayliss, J., Gowing, D., Bayliss, J., Jones, J.P.G., Lewis, S., Mulligan, M., Pandeya, B., Stratford, C., Thompson, J.R., Turner, R.K., Vira, B., Willcock, S., Merrimen, J.C., 2013. TESSA: A toolkit for rapid assessment of ecosystem services. *Ecosyst. Serv.* 5, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.06.003>
- Peh, K.S.-H., Balmford, A.P., Bradbury, R.B., Brown, C., Butchart, S.H.M., Hughes, F.M.R., A, M.M., Stattersfield J., A., Thomas, D.H.L., Trevelyan, R.J., Walpole, M., Merriman, J.C., 2017. Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment (TESSA). Version 2.0. Cambridge, UK.
- R Core Team, 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Found. Stat. Comput. Vienna, Austria.
- RAN, 2022. Registro Agrario Nacional [WWW Document]. Gob. México. URL <https://phina.ran.gob.mx/index.php> (accessed 8.24.22).
- RAN, 2021. Estadística con perspectiva de género [WWW Document]. Result. del Regist. Agrar. Nac. URL <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php/sistemas-de-consulta/estadistica-agraria/estadistica-con-perspectiva-de-genero> (accessed 11.30.22).
- Rana, S., Ávila-García, D., Dib, V., Familia, L., Gerhardinger, L.C., Martin, E., Martins, P.I., Pompeu, J., Selomane, O., Tauli, J.I., Tran, D.H.T., Valle, M., Below, J. von, Pereira, L.M., 2020. The voices of youth in envisioning positive futures for nature and people. *Ecosyst. People* 16, 326–344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1821095>
- Raum, S., 2018. A framework for integrating systematic stakeholder analysis in ecosystem services research: Stakeholder mapping for forest ecosystem services in the UK. *Ecosyst. Serv.* 29, 170–184. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.01.001>
- Redhead, J.W., Stratford, C., Sharps, K., Jones, L., Ziv, G., Clarke, D., Oliver, T.H., Bullock, J.M., 2016. Empirical validation of the InVEST water yield ecosystem service model at a national scale. *Sci. Total Environ.* 569–570, 1418–1426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.227>
- Reed, M.S., Vella, S., Challies, E., de Vente, J., Frewer, L., Hohenwallner-Ries, D., Huber, T., Neumann, R.K., Oughton, E.A., Sidoli del Ceno, J., van Delden, H., 2018. A theory of participation: what makes stakeholder and public engagement in environmental management work? *Restor. Ecol.* 26, S7–S17. <https://doi.org/10.1111/REC.12541>
- Renard, K.G., Agricultural Research Service, W., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). <https://doi.org/10.3/JQUERY-UI.JS>
- Retruate, A., 2000. Pérdida de suelo en la subcuenca del río Atopa, región Cofre de Perote, Veracruz, México. Universidad Veracruzana.
- Richter, F., Jan, P., El Benni, N., Lüscher, A., Buchmann, N., Klaus, V.H., 2021. A guide to assess and value ecosystem services of grasslands. *Ecosyst. Serv.* 52, 101376. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101376>
- Rodríguez-Huerta, E., Rosas-Casals, M., Hernández-Terrones, L.M., 2019. A water balance model to estimate

- climate change impact on groundwater recharge in Yucatan Peninsula, Mexico. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1702989> 65, 470–486. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1702989>
- Ross, C., Prihodko, L., Anchang, J.Y., Kumar, S., Ji, W., Hanan, N.P., 2018. Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling. ORNL DAAC. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1566>
- SADER-SIAP, 2023. SIACON [WWW Document]. Serv. Inf. Agroaliment. y Pesq. URL <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SCITEL-INEGI, 2020. Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad. [WWW Document]. URL <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/default?ev=7> (accessed 10.20.22).
- Seifert-Dähnn, I., Barkved, L.J., Interwies, E., 2015. Implementation of the ecosystem service concept in water management - Challenges and ways forward. *Sustain. Water Qual. Ecol.* <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2015.01.007>
- SEMARNAT-CONAFOR, 2023. SNIF [WWW Document]. Sist. Nac. Inf. For. URL <https://snif.cnf.gob.mx/>
- SEMARNAT-CONAGUA, 2018. Atlas del Agua en México.
- Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., 2018. InVEST 3.6.0 User's Guide.
- SIGEIA-SEMARNAT, 2022. Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental (SIGIEA) | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-de-informacion-geografica-para-la-evaluacion-del-impacto-ambiental-sigeia> (accessed 10.12.22).
- SMN, 2022. Normales Climatológicas por Estado [WWW Document]. Serv. Meteorológico Nac. URL <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado> (accessed 10.17.22).
- Springer, I.T.J., 2002. Principal Component Analysis, Second Edition, Second. ed. Springer.
- Tapella, E., 2007. Esteban Tapella, Documento de trabajo del proyecto Efectos de la biodiversidad funcional sobre procesos ecosistémicos, servicios ecosistémicos y sustentabilidad en las Américas: un abordaje interdisciplinario".
- Taylor, J., Bogdan, R., 2000. Introducción a los métodos cualitativos. Paidós.
- TEEB, 2010. TEEB Foundations. *Econ. Ecosyst. Biodivers. Ecol. Econ. Found.* 1–422. <https://doi.org/10.1017/s1355770x11000088>
- Terrado, M., Acuña, V., Ennaanay, D., Tallis, H., Sabater, S., 2014. Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin. *Ecol. Indic.* 37, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.016>
- Thompson, S.E., Harman, C.J., Konings, A.G., Sivapalan, M., Neal, A., Troch, P.A., 2011. Comparative hydrology across AmeriFlux sites: The variable roles of climate, vegetation, and groundwater. *Water Resour. Res.* 47, 0–07. <https://doi.org/10.1029/2010WR009797>
- UNIATMOS-UNAM, 2022. Cambios de temperatura y precipitación, horizonte medio 2041-2060 [WWW Document]. Repositorio. URL <https://ri.atmosfera.unam.mx/AR6/srv/eng/catalog.search#/metadata/0fdc6463-abdc-4608-8cd5-767bca0d1fed> (accessed 10.23.22).
- UNIATMOS-UNAM, 2020. Climatologías mensuales promedio de precipitación y temperatura con datos del Servicio Meteorológico Nacional [WWW Document]. Repos. Inst. Ciencias la Atmósfera y Cambio Climático. UNAM. URL <https://ri.atmosfera.unam.mx/AR6/srv/eng/catalog.search#/home> (accessed 10.17.22).
- Urquiza Gómez, A., Cadenas, H., 2015. Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica. <http://journals.openedition.org/ordea>. <https://doi.org/10.4000/ORDA.1774>
- Valles, S., 2007. Entrevistas cualitativas (No. 32), Cuadernos metodológicos.
- Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L.T.H., McInnes, J., Roberts, A.M., 2012. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology* 138, 74–88. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2011.08.026>
- Villa, F., Ceroni, M., Bagstad, K., Johnson, G., Krivov, S., 2009. ARIES (ARtificial Intelligence for Ecosystem Services): a new tool for ecosystem services assessment, planning, and valuation.
- Willemen, L., Crossman, N.D., Newsom, D., Hughell, D., Hunink, J.E., Milder, J.C., 2019. Aggregate effects on ecosystem services from certification of tea farming in the Upper Tana River basin, Kenya. *Ecosyst. Serv.* 38. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100962>
- World Bank, 2022. Scoping study and project tracking for Economic Valuation of Ecosystem Services to Strengthen Integrated Landscape Management in Selected Watersheds in Mexico [WWW Document]. URL <https://blogs.worldbank.org/opendata/data-brings-new-perspectives-watershed-conservation> (accessed 10.13.22).

- Wu, Y., Zhang, X., Li, C., Xu, Y., Hao, F., Yin, G., 2021. Ecosystem service trade-offs and synergies under influence of climate and land cover change in an afforested semiarid basin, China. *Ecol. Eng.* 159, 106083. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106083>
- Yang, D., Liu, W., Tang, L., Chen, L., Li, X., Xu, X., 2019. Estimation of water provision service for monsoon catchments of South China: Applicability of the InVEST model. *Landsc. Urban Plan.* 182, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.011>
- Zhang, L., Hickel, K., Dawes, W.R., Chiew, F.H.S., Western, A.W., Briggs, P.R., 2004. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration. *Water Resour. Res.* 40, 2502. <https://doi.org/10.1029/2003WR002710>

ANEXO 1

Primer taller participativo Ejemplos de carta descriptiva y formatos

Objetivo general

Identificar las presiones (actividades o eventos) con impactos potenciales en el suministro de servicios ecosistémicos (SE) percibidos por los actores locales de la cuenca, para actualización del Plan de Acción de Manejo Integral de Cuenca (PAMIC).

Objetivos específicos:

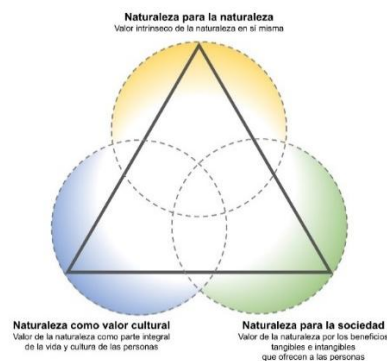
1. Involucrar a diferentes actores locales en la construcción de los PAMIC y favorecer la apropiación del instrumento.
2. Brindar información sobre la elaboración del PAMIC, resaltando el enfoque de cuenca en el marco del proyecto CONECTA.
3. Reflexionar en torno al concepto de servicios ecosistémicos (SE) y la valoración de la naturaleza.
4. Visualizar los límites territoriales de las cuencas e identificar las zonas con mayores presiones sobre la provisión y mantenimiento de los SE.
5. Compartir experiencias y reflexiones en torno a las principales actividades o eventos con impacto potencial sobre los SE considerando un enfoque de género.

Modalidad: Presencial

Duración aproximada: 05 horas.

Convocatoria: Personal adscrito a instancias públicas o privadas involucrado o con experiencia en proyectos de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas con incidencia en las cuencas.

Tema	Objetivo	Técnica	Procedimiento	Materiales	Productos
Bienvenida	Dar la bienvenida a las y los participantes. Presentar el contexto del taller: Proyecto CONECTA y elaboración o actualización del PAMIC	Expositiva	Se expondrán los antecedentes y se realizará una introducción general del proyecto CONECTA, su componente 1 y los objetivos específicos de la elaboración o actualización de los PAMIC. Se mencionarán a las instituciones organizadoras y se presentarán a las personas facilitadoras.	Equipo de sonido.	Registro de palabras
Presentación de participantes	Presentar a participantes y promover un ambiente de confianza	Momento	Presentación de cada uno de los asistentes (nombre, adscripción y conocimiento de los antecedentes del PAMIC).	Equipo de sonido.	Presentaciones individuales
Introducción al taller	Presentar los objetivos, dinámicas y reglas de convivencia para el desarrollo del taller	Expositiva	Se presentarán los objetivos, agenda y dinámicas de trabajo. Se propondrán las pautas para el buen desarrollo del taller.	- Proyector. - Equipo de sonido. - Apuntador. - Laptop.	Acuerdos de trabajo y convivencia
Valoración de la naturaleza	Integrar a las y los participantes y discutir en torno al concepto de SE y las diferentes percepciones relacionadas con la valoración de la naturaleza.	Pregunta detonadora: ¿Por qué valoras la naturaleza? Reflexión colectiva.	Con base en tres principales visiones propuestas en el <i>Nature Futures Framework</i> (Pereira et. al. 2020) se plantea la pregunta detonadora y se les pide a las personas participantes que coloquen un distintivo en la zona del triángulo que más se acerque a su postura: 1) Por el valor intrínseco de la naturaleza en sí misma; 2) Porque nos relacionamos con ella y es parte de nuestra vida y cultura; 3) Por los beneficios tangibles o intangibles que las personas podemos obtener de la naturaleza. Se finaliza con una reflexión colectiva con base en la distribución en el triángulo de todos los participantes.	- Distintivos. - Marcadores. - Figura del triángulo impresa	Línea base sobre el concepto de SE



Tema	Objetivo	Técnica	Procedimiento	Materiales	Productos
Actividades de impacto	Identificar las principales actividades que podrían estar impactando positiva o negativamente el suministro de SE percibidos como prioritarios por los actores locales de las cuencas.	Momento Captura de información individual, mesas de trabajo y reflexión grupal.	Se expondrán los conceptos clave para la actividad (cuenca hidrográfica, servicios ecosistémicos, actividades de impacto, enfoque de género). Se plantearán las preguntas guía y se explicará la información solicitada para que cada participante pueda completar de forma individual los formatos de captura impresos. Las actividades o eventos listados en los formatos se valorarán en términos de temporalidad, alcance e impacto sobre los SE. Posteriormente, se formarán 2-3 grupos para discutir los resultados en conjunto con un facilitador. Se buscará reconocer las diferencias de género en las principales actividades identificadas. Finalmente, se expondrán de manera voluntaria las principales conclusiones.	- Formatos impresos para cada asistente (Tablas A1.1 y A1.2). - Bolígrafos. - Papelógrafos. - Marcadores.	Identificación de actividades y SE percibidos como relevantes en la cuenca.
Receso					
Cuenca hidrográfica y enfoque de género	1) Unificar principios y conceptos sobre las cuencas hidrográficas y visualizar los límites territoriales de las cuencas. 2) Relacionar los resultados de la actividad anterior con el mapa de USV, incluyendo la identificación de las zonas con ganadería y los cultivos predominantes en cada una de las cuencas.	Momento Expositivo y mapeo participativo.	Presentación del mapa de uso de suelo y vegetación de las cuencas. Se trabajará en dos-tres grupos (dependiendo del número de asistentes) y se les pedirá que marquen las zonas donde se presentan las actividades de impacto identificadas en la dinámica previa. Se aprovechará el espacio para para identificar áreas relacionadas con las actividades pecuarias y agrícolas (diferenciando por tipos de cultivo), así como las principales fuentes de abastecimiento de agua destinadas a estas actividades, zonas con actividades agroecológicas o lugares donde actualmente se llevan a cabo prácticas de conservación de suelos o vegetación.	- Presentación. - Mapas impresos con los límites de las cuencas, que incluyan la red hidrográfica, asentamientos poblacionales y coberturas suelo y vegetación. - Marcadores de diferente color.	Reflexión e identificación espacial sobre el impacto potencial de las diferentes actividades sobre los SE de las cuencas. Sensibilización sobre el enfoque de género. Mapa de la cuenca con la identificación de zonas ganaderas y agrícolas por tipos de cultivos.

Tema	Objetivo	Técnica	Procedimiento	Materiales	Productos
Preguntas, comentarios e intercambio de información	Compartir experiencias, externar dudas, preguntas o comentarios. Exponer los siguientes pasos de la actualización del PAMIC.	Plenaria	Se abrirá un espacio de intercambio de experiencias y planteamiento de dudas. Se resaltaré la importancia de la participación de los actores locales, vinculando los objetivos de las actividades del taller con el proceso de elaboración de los PAMIC.	Equipo de sonido	Discusión y conclusión grupal.
Evaluación del taller	Evaluar participativamente los puntos fuertes y débiles del taller	Evaluación participativa "semáforo"	Cada participante evaluará cinco dimensiones distintas del taller: 1) Facilitación; 2) Relevancia de los temas; 3) Cumplimiento del objetivo; 4) Comodidad para expresarse y; 5) Duración del taller. De esta forma, se podrá evaluar visualmente el balance colectivo de la jornada.	Formulario en google forms.	Evaluación participativa del taller.
Cierre del taller	Dar formalidad al cierre del taller.	Plenaria	Palabras de agradecimiento y de clausura por parte de los organizadores.	Equipo de sonido.	Cierre.

Registro fotográfico (Créditos: FMCN y FONCET)



Formato de evaluación individual de actividades de impacto potencial sobre los SE

Objetivo: Identificar las principales actividades o eventos con impacto potencialmente negativo en el suministro de servicios ecosistémicos considerando su **Temporalidad (T)**, **Alcance (A)** e **Impacto (I)** en las cuencas.

Tabla A1.1. Descripción de variables consideradas para la evaluación.

Variable	Temporalidad (T)	Alcance (A)	Impacto (I)
Pregunta	¿Cuáles son las actividades que actualmente se realizan en la cuenca? ¿Cuáles son las que es probable que se realicen a mediano o largo plazo?	¿En qué porcentaje de la superficie de la cuenca se llevan o podrían llevarse a cabo estas actividades?	¿Cómo impactan o podrían impactar estas actividades en la conservación y mantenimiento de los servicios ecosistémicos hidrológicos (SE)?
Puntuación	0 - No se lleva a cabo/presenta actualmente y es poco probable que se desarrolle a futuro 1 – Se llevan a cabo actualmente 1 - No se llevan a cabo actualmente, pero es probable que se desarrollen/presenten a mediano/largo plazo (10 años)	3 - Toda la cuenca (>100%) 2 - Más de la mitad (50-90%) 1 - Menos de la mitad (10-49%) 0 - Poca área (< 10%)	1 - Afecta la cantidad/provisión de agua. 1 – Afecta la calidad de agua (p.ej. transporte potencial de nutrientes de fósforo y nitrógeno). 1 - Aumenta o favorece la erosión (pérdida potencial del suelo) y transporte de sedimentos. 1 - Aumenta las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Tabla A1.2. Evaluación individual de actividades o eventos presentes en la cuenca.

No.	Actividad o evento	Temporalidad (T)		Alcance (A)	Impacto (I)				Puntuación TOTAL
		1 – Se llevan a cabo/presentan actualmente 0 – No se lleva a cabo/presenta (actual y futuro)	1 – No se presenta actualmente, pero es probable que se desarrolle a medio/largo plazo.	0 – Poca área (< 10 %) 1 – Menos de la mitad (10-49%) 2 – Más de la mitad (50-90%) 3 – Toda la cuenca (>100%)	Afecta la cantidad o provisión de agua Sí=1; No=0	Afecta la calidad del agua (p.ej. nutrientes) Sí=1; No=0	Aumenta o favorece la erosión y sedimentos Sí=1; No=0	Aumenta emisiones GEI Sí=1; No=0	T+A+I
1	Aumento de las actividades agrícolas								
2	Uso de agroquímicos								
3	Aumento de las actividades ganaderas								
4	Producción de carne bovina y lácteos								
5	Aumento en el desarrollo residencial o comercial								
6	Construcción de carreteras, veredas, líneas eléctricas o antenas								
7	Minería								
8	Contaminación por residuos sólidos								
9	Deforestación y/o tala ilegal								
10	Explotación de agua (superficial o subterránea) para diferentes usos								

No.	Actividad o evento	Temporalidad (T)		Alcance (A)	Impacto (I)				Puntuación TOTAL
		1 – Se llevan a cabo/presentan actualmente 0- No se lleva a cabo/presenta (actual y futuro)	1- No se presenta actualmente, pero es probable que se desarrolle a medio/largo plazo.	0 - Poca área (< 10 %) 1 - Menos de la mitad (10-49%) 2 - Más de la mitad (50-90%) 3 - Toda la cuenca (>100%)	Afecta la cantidad o provisión de agua Sí=1; No=0	Afecta la calidad del agua (p.ej. nutrientes) Sí=1; No=0	Aumenta o favorece la erosión y sedimentos Sí=1; No=0	Aumenta emisiones GEI Sí=1; No=0	T+A+I
11	Descarga de aguas residuales								
12	Especies animales o vegetales introducidas o invasoras								
13	Recreación / Turismo								
14	Deslizamientos/deslaves								
15	Huracanes y tormentas								
16	Incendios naturales o inducidos								
17	Inundaciones								
18	Sequías / olas de calor								
19	Otra(s):								

ANEXO 2

Segundo taller participativo Ejemplos de carta descriptiva y formatos

Objetivo general

Identificar y priorizar de forma participativa las actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas asociadas con los servicios ecosistémicos (SE) de las cuencas.

Objetivos específicos:

1. Brindar información sobre la actualización, elaboración y lecciones aprendidas de los PAMIC, resaltando el enfoque hacia sistemas pecuarios y agroforestales.
2. Describir el proceso metodológico para la obtención de mapas de línea base: rendimiento hídrico anual y estacional, pérdida potencial de suelo y transporte potencial de nutrientes.
3. Identificar espacialmente y caracterizar las actividades prioritarias para discutir y proponer estrategias de implementación.
4. Fortalecer sinergias entre actores clave en el marco de la planeación estratégica de las cuencas.
5. Identificar los vínculos institucionales considerando las principales problemáticas y metas territoriales de las cuencas.

Modalidad: Presencial

Duración aproximada: 05 horas.

Convocatoria: Personas representantes de instituciones gubernamentales o tomadoras de decisiones a nivel local y regional.

Tema	Objetivo	Técnica	Procedimiento	Materiales	Productos
Bienvenida	Dar la bienvenida a las y los participantes. Presentar el contexto del taller: Proyecto CONECTA y elaboración o actualización del PAMIC	Expositiva	Se expondrán los antecedentes y se realizará una introducción general del proyecto CONECTA, su componente 1 y los objetivos específicos de la elaboración o actualización de los PAMIC. Se mencionarán a las instituciones organizadoras y se presentarán a las personas facilitadoras.	Equipo de sonido.	Registro de palabras
Presentación de participantes	Presentar a participantes y promover un ambiente de confianza	Momento	Presentación de cada uno de los asistentes (nombre, adscripción y conocimiento de los antecedentes del PAMIC).	Equipo de sonido.	Presentaciones individuales
Introducción al taller	Presentar los objetivos, dinámicas y reglas de convivencia para el desarrollo del taller	Expositiva	Se presentarán los objetivos, agenda y dinámicas de trabajo. Se propondrán las pautas para el buen desarrollo del taller.	- Proyector. - Equipo de sonido. - Apuntador. - Laptop.	Acuerdos de trabajo y convivencia
Evaluación de actividades prioritarias	Evaluar las actividades prioritarias para discutir y proponer estrategias de implementación.	Momento Discusión y captura de información por equipo.	Se introducirá la dinámica, detallando los tiempos para cada paso y mostrando los antecedentes para la selección de las actividades elegibles descritas en el anexo 2 de la convocatoria CONECTA. Se plantearán las preguntas guía y se explicará la información solicitada para que cada participante pueda evaluar las actividades elegibles en términos de temporalidad, alcance e impacto. Posteriormente, se discutirán los resultados e identificar las tres actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas con mayor puntuación por equipo.	- Presentación - Formatos impresos individuales (Tablas A2.1 y A2.2)	Identificación de actividades prioritarias para conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas.
Caracterización y mapeo de actividades prioritarias	Caracterizar e identificar espacialmente las tres principales actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas	Momento Expositivo y mapeo participativo.	Con base en los resultados de evaluación de actividades prioritarias, se formarán dos o cuatro grupos (dependiendo del número de asistentes). En cada grupo se discutirán y caracterizarán las tres principales actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas con base en los posibles socios, vinculación con instituciones gubernamentales y fuentes de financiamiento, así como los retos o dificultades de implementación en la cuenca. Posteriormente y considerando la información previa, cada grupo trabajará sobre los mapas de uso de suelo y vegetación de la cuenca (así como los mapas temáticos impresos de línea base) y se les pedirá que marquen manualmente las zonas donde llevarían a cabo las principales actividades de conservación y restauración y adecuación de prácticas.	- Marcadores - Mapas impresos del uso de suelo y vegetación con de los límites de la cuenca y subcuencas. - Mapas temáticos los resultados de la modelación de línea base de los SE	Mapas con la identificación de actividades prioritarias focalizadas por actividad

Tema	Objetivo	Técnica	Procedimiento	Materiales	Productos
Preguntas, comentarios e intercambio de información	Compartir experiencias, externar dudas, preguntas o comentarios. Exponer los siguientes pasos de la elaboración del PAMIC.	Plenaria	Se abrirá un espacio de intercambio de experiencias y planteamiento de dudas. Se resaltarán la importancia de la participación de los actores locales, vinculando los objetivos de las actividades del taller con el proceso de elaboración de los PAMIC.	Equipo de sonido	Discusión y conclusión grupal.
Evaluación del taller	Evaluar participativamente los puntos fuertes y débiles del taller	Evaluación participativa "semáforo"	Cada participante evaluará cinco dimensiones distintas del taller: 1) Facilitación; 2) Relevancia de los temas; 3) Cumplimiento del objetivo; 4) Comodidad para expresarse y; 5) Duración del taller. De esta forma, se podrá evaluar visualmente el balance colectivo de la jornada.	Formulario en google forms	Evaluación participativa del taller.
Cierre del taller	Dar formalidad al cierre del taller.	Plenaria	Palabras de agradecimiento y de clausura por parte de los organizadores.	Equipo de sonido.	Cierre.

Registro fotográfico (Créditos: FMCN y Consejo de Cuenca Tuxpan al Jamapa)



Formato de evaluación de actividades de impacto potencial sobre los SE

Objetivo: Identificar y priorizar las actividades de conservación, restauración, agroforestería y ganadería asociadas con los servicios ecosistémicos (SE) considerando su **Temporalidad (T)**, **Alcance (A)** e **Impacto (I)** en las cuencas.

Tabla A2.1. Descripción de indicadores y puntajes considerados para la evaluación.

Variable	Temporalidad (T)	Alcance (A)	Impacto (I)												
Pregunta	¿Cuáles son las actividades que actualmente se realizan en la Región Vallarta?	Aproximadamente, ¿en qué porcentaje de la superficie de la región se llevan a cabo o podrían presentarse cada una de estas actividades?	¿Existe interés o sería importante llevar a cabo/continuar con estas actividades a nivel local o regional? ¿Existe capacidad técnica y financiera a nivel local o regional para llevar a cabo o continuar con estas actividades en los próximos cinco años?												
Puntuación	1 punto – Se llevan a cabo actualmente 0 puntos - No se lleva a cabo actualmente o no se conocen proyectos en la región	3 puntos – En casi toda la cuenca (> 85%) 2 puntos - Más de la mitad (50-85%) 1 punto - Menos de la mitad (10-49%) 0 puntos - Poca área (< 10%)	<table><tr><th>Interés o importancia</th><th>Capacidad técnica</th><th>Capacidad financiera</th></tr><tr><td>2 puntos-Alta</td><td>2 puntos-Alta</td><td>2 puntos- Alta</td></tr><tr><td>1 punto- Media</td><td>1 punto- Media</td><td>1 punto- Media</td></tr><tr><td>0 puntos- Baja</td><td>0 puntos- Baja</td><td>0 puntos- Baja</td></tr></table>	Interés o importancia	Capacidad técnica	Capacidad financiera	2 puntos -Alta	2 puntos -Alta	2 puntos - Alta	1 punto - Media	1 punto - Media	1 punto - Media	0 puntos - Baja	0 puntos - Baja	0 puntos - Baja
Interés o importancia	Capacidad técnica	Capacidad financiera													
2 puntos -Alta	2 puntos -Alta	2 puntos - Alta													
1 punto - Media	1 punto - Media	1 punto - Media													
0 puntos - Baja	0 puntos - Baja	0 puntos - Baja													

Tabla A2.2. Evaluación de actividades en las cuencas.

ID	Actividad	Temporalidad (T)	Alcance (A)	Impacto (I)			Puntuación TOTAL
		1 – Se lleva a cabo actualmente 0- No se lleva a cabo	3 – En casi toda la región (> 85%) 2 - Más de la mitad (50-85%) 1 - Menos de la mitad (10-49%) 0 - Poca área (< 10 %)	Interés o importancia local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad técnica local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad financiera local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	T+A+I
Conservación y Restauración							
1	Realizar actividades para la prevención, combate y manejo del fuego (p.ej. capacitación y equipamiento de brigadas y establecimiento de brechas cortafuego).						
2	Establecer Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC) o Áreas Privadas de Conservación (APC).						
3	Establecer o fortalecer Unidades de Manejo de Vida Silvestre (UMA) extensivas.						
4	Delimitar o fortalecer zonas de conservación de bosques o pastizales nativos, incluyendo parches de vegetación para mejorar conectividad.						
5	Establecer y mantener viveros y/o bancos de semillas de especies nativas para la restauración, reforestación, y/o mejoramiento de la vegetación.						
6	Establecer áreas de restauración, reforestación, aforestación y/o mejoramiento de la vegetación en sistemas riparios.						
7	Restaurar, aforestar, reforestar, y/o mejorar la vegetación de los humedales, manantiales o manglares.						
8	Conservar y restaurar el suelo, incluyendo zonas agrícolas (p. ej. establecimiento de árboles para la recuperación de suelos, cercos vivos, terrazas, cultivos en laderas siguiendo curvas a nivel, cortinas rompevientos).						
9	Dar mantenimiento a las restauraciones y reforestaciones, (p.ej. a través de chapeos y reposición de planta muerta).						

ID	Actividad	Temporalidad (T)	Alcance (A)	Impacto (I)			Puntuación TOTAL
		1 – Se lleva a cabo actualmente 0- No se lleva a cabo	3 – En casi toda la región (> 85%) 2 - Más de la mitad (50-85%) 1 - Menos de la mitad (10-49%) 0 - Poca área (< 10 %)	Interés o importancia local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad técnica local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad financiera local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	T+A+I
10	Controlar especies invasoras, mediante técnicas de control mecánico, físico y/o biológico, y considerando la normatividad.						
11	Implementar jornadas para la limpieza de ríos y otros cuerpos de agua.						
12	Implementar monitoreos de la calidad y cantidad de agua, del estado del suelo y/o de la biodiversidad, para poder diseñar estrategias de manejo y conservación que permitan mantener y mejorar la provisión de servicios ecosistémicos.						
13	Establecer o fortalecer el esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA).						
	Otra(s):						
Agroforestería							
1	Establecer o mejorar cultivos bajo sombra (p.ej. cacao, café).						
2	Establecer y fortalecer sistemas agroforestales de producción diversificada (p.ej. milpa con frutales y bosques comestibles).						
3	Incorporar o fortalecer el aprovechamiento sostenible de productos no maderables (p.ej. hongos, miel, orquídeas, palmas, epífitas, entre otros).						
4	Establecer o fortalecer el manejo forestal comunitario maderable y no maderable.						

ID	Actividad	Temporalidad (T)	Alcance (A)	Impacto (I)			Puntuación TOTAL
		1 – Se lleva a cabo actualmente 0- No se lleva a cabo	3 – En casi toda la región (> 85%) 2 - Más de la mitad (50-85%) 1 - Menos de la mitad (10-49%) 0 - Poca área (< 10 %)	Interés o importancia local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad técnica local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad financiera local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	T+A+I
5	Implementar mejores prácticas agrícolas, por ejemplo: diversificación entre cultivos perennes y plantaciones de árboles, uso de especies forestales de usos múltiples y rotación de cultivos; selección y cultivo de variedades adaptadas localmente, con menores requerimientos y mayor productividad; cultivos multianuales y de cobertura.						
6	Reducir el uso de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas inorgánicos/químicos para promover la capacitación y el uso de insumos orgánicos (p.ej. biofertilizantes, bioplaguicidas, composta).						
7	Enriquecer o mejorar áreas de barbecho y acahuales, por ejemplo, mediante reforestación, restauración de suelos o agricultura de conservación.						
8	Reducir el uso de maquinaria pesada (tractores), incluyendo la implementación de labranza de conservación o de labranza cero.						
9	Implementar y distribuir de manera estratégica sistemas para la cosecha o captación agua pluvial destinada a usos agropecuarios.						
10	Implementar actividades de apicultura con árboles o cultivos para polinizadores.						
11	Implementación de mecanismos de control de plagas y enfermedades de los diferentes cultivos a través de controles biológicos o ecológicos (p.ej. podas, uso de variedades resistentes, trampas artesanales).						
12	Otra(s):						

ID	Actividad	Temporalidad (T)	Alcance (A)	Impacto (I)			Puntuación TOTAL
		1 – Se lleva a cabo actualmente 0- No se lleva a cabo	3 – En casi toda la región (> 85%) 2 - Más de la mitad (50-85%) 1 - Menos de la mitad (10-49%) 0 - Poca área (< 10 %)	Interés o importancia local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad técnica local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad financiera local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	T+A+I
Ganadería regenerativa o sustentable							
1	Establecer sistemas multipropósito de producción ganadera (p.ej. silvopastoril, agrosilvopastoril).						
2	Implementar o fortalecer el manejo sanitario y reproductivo de forma integral y planificada (p.ej. calendarios de vacunación y reproductivos; reducción de medicamentos y desparasitantes; razas adaptadas a las condiciones locales, registros técnico-productivos).						
3	Rehabilitar o enriquecer los agostaderos o pastizales con especies nativas de leguminosas o fijadoras de nitrógeno que sirvan como bancos forrajeros de alta proteína, incluyendo la elaboración de bloques multinutricionales para mejorar la dieta del ganado.						
4	Implementar sistemas de pastoreo planificados y localmente adaptados que favorezcan la regeneración del suelo y el aprovechamiento sostenible del agua, forraje y otros recursos (p.ej. pastoreo intensivo o rotativo mediante división de áreas de pastoreo con cercos fijos/móviles o eléctricos solares, curvas de nivel, ubicación estratégica de bebederos).						
5	Reforestar, restaurar y/o establecer corredores biológicos o áreas de exclusión del ganado para la protección de sistemas riparios o áreas de conservación, disminuyendo los conflictos con los depredadores.						
6	Establecer árboles y arbustos dispersos o cercas vivas multipropósito que funcionen como barreras contra el viento, árboles frutales o forrajeros y/o corredores biológicos, al interior y entre los predios ganaderos.						

ID	Actividad	Temporalidad (T)	Alcance (A)	Impacto (I)			Puntuación TOTAL
		1 – Se lleva a cabo actualmente 0- No se lleva a cabo	3 – En casi toda la región (> 85%) 2 - Más de la mitad (50-85%) 1 - Menos de la mitad (10-49%) 0 - Poca área (< 10 %)	Interés o importancia local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad técnica local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	Capacidad financiera local o regional 2- Alta 1- Media 0- Baja	T+A+I
7	Muestrear y analizar los suelos para determinar la captura de carbono, fertilidad y productividad, incluyendo técnicas de manejo de estiércol a través de composteo o biodigestores.						
8	Implementar técnicas para controlar la erosión del suelo y maximizar el aprovechamiento del agua a través de barreras de piedra acomodada o prácticas de arado para el control de escorrentía.						
9	Implementar, mejorar o actualizar planes preventivos y protocolos de alerta temprana contra efectos hidrológicos adversos con la inclusión de criterios de bienestar animal y protección del ganado, incluyendo otras actividades económicas locales.						
10	Establecer infraestructura ante riesgos naturales (p.ej. terraplenes, rehabilitación de drenes parcelarios y caminos limpios para el desalojo de ganado, corrales, bodegas de animales).						
11	Implementar métodos alternativos de uso del fuego agropecuario.						
12	Otra(s):						

ANEXO 3

Ejemplos de formatos diseñados para recopilación de información en territorio

CUESTIONARIO - ACTIVIDADES AGRÍCOLAS																																					
Nombre: _____ Fecha: _____ Grupo indígena, afroamericano o afrodescendiente: _____ Teléfono: _____ Correo: _____ Localidad y municipio: _____ Fecha de nacimiento: _____ CURP: _____ Grado de escolaridad: _____																																					
1. Variedades	Principal variedad cultivada (no. de ha): _____ Otras variedades (ha): _____																																				
2. Preparación del terreno	Marque (X) todas las prácticas que realice para la preparación del terreno: Análisis de suelo _____ Chapoleo _____ Subsoleo _____ Barbecho _____ Nivelación _____ Rastreo _____ Surcado _____ Quema en cosecha _____ Encalado _____ Composta _____ *Invernadero _____ Ninguna _____ Otra: _____																																				
3. Fuentes de abastecimiento	Indique si es un cultivo de temporal o de riego. En caso afirmativo, indique la frecuencia. Temporal _____ Riego _____ Frecuencia de riego: _____ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Principal fuente de abastecimiento</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Fuente(s) alternativa(s) o periodo (temporal)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Temporada seca</th> <th style="text-align: center;">Temporada lluvia</th> <th style="text-align: center;">Temporada seca</th> <th style="text-align: center;">Temporada lluvia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 30px;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Provisión de agua por mes: (√) Suficiente (X) Insuficiente (+) Más de la necesaria <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Ene</th> <th style="text-align: center;">Feb</th> <th style="text-align: center;">Mar</th> <th style="text-align: center;">Abr</th> <th style="text-align: center;">May</th> <th style="text-align: center;">Jun</th> <th style="text-align: center;">Jul</th> <th style="text-align: center;">Ago</th> <th style="text-align: center;">Sep</th> <th style="text-align: center;">Oct</th> <th style="text-align: center;">Nov</th> <th style="text-align: center;">Dic</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 20px;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Presencia de inundaciones, sequías o incendios con impacto en los cultivos en los últimos 10 años: Sí _____ No _____	Principal fuente de abastecimiento		Fuente(s) alternativa(s) o periodo (temporal)		Temporada seca	Temporada lluvia	Temporada seca	Temporada lluvia					Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic												
Principal fuente de abastecimiento		Fuente(s) alternativa(s) o periodo (temporal)																																			
Temporada seca	Temporada lluvia	Temporada seca	Temporada lluvia																																		
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic																										
4. Periodo de siembra y cosecha	Indique el periodo (mes/meses) en que realiza la siembra o trasplante y cosecha: _____																																				
5. Densidad de plantación	Indique la configuración y la densidad de plantación que emplea: Configuración/sistemas de siembra: _____ Número de plantas por hectárea: - Distancia entre plantas: _____ No. de ha. aproximadas/productor(a): _____																																				

CUESTIONARIO - ACTIVIDADES AGRÍCOLAS**6. Fertilización**

Indique la dosis y frecuencia de fertilización que emplea de acuerdo con el ciclo del cultivo:

Edad del cultivo (días/meses/años)	Fertilizante y dosis (Bultos, kg/hectárea o g/planta)	No. de aplicaciones (única, anual, mensual)	Concentración (%)		
			N	P	K

Nitrogenados:

Fosforados:

Potásicos:

Otros:

7. Control de malezas

Marque (X) los mecanismos de control de malezas que emplea:

a. Manualmente ____

b. Mecánicamente ____

c. Aplicación de herbicidas:

Producto:

Dosis:

Frecuencia:

8. Control de plagas y enfermedades

8.1. Indique el principal tipo de plaga o enfermedad que presenta o ha presentado su cultivo (incidencia por aumento o disminución de la temperatura):

8.2. ¿Cuáles son los principales mecanismos de control de plagas y enfermedades que emplea? En caso de utilizar productos químicos, indique el nombre de los productos y las dosis aproximadas de aplicación por hectárea.

9. Escenarios futuros

¿Cuál es su percepción respecto al aumento o disminución de este cultivo en los últimos 10 años? ¿Cuál es su proyección para los siguientes 10 años? ¿Retos y oportunidades de prácticas agroecológicas?

CUESTIONARIO- GANADERÍA BOVINANombre: _____   Fecha: _____

Grupo indígena, afroamericano o afrodescendiente, otro: _____

Teléfono: _____ Correo: _____

Localidad y municipio: _____

Fecha de nacimiento: _____ CURP: _____

Grado de escolaridad: _____

Uso del suelo:

Tipo de propiedad	Privada ()	Ejidal ()	Comunal ()	Federal ()	Otro ()
No. ha:					
Años de experiencia en la actividad ganadera:			¿Ha pensado en ampliar la superficie destinada a la ganadería?		
Superficie total del rancho (ha):	Superficie dedicada a la ganadería (ha):		Superficie dedicada a la agricultura (ha) y especie:		Superficie dedicada a otra actividad y a qué (ha):

1. Tipo de ganado (propósito)	De acuerdo con su propósito, indique el tipo de ganado que tiene en su unidad de producción y el número de cabezas. Lechero _____ Carne _____ Doble propósito _____ Otro _____
2. Tipo de producto(s)	Leche _____ Carne _____ Animal en pie _____ Otro _____
3. Tipo de manejo	¿Qué tipo de manejo tiene? Si realiza un tipo de manejo diferente dependiendo del tipo de el tipo de ganado, señalarlo. Estabulado _____ Semi-estabulado _____ Extensivo _____ Cercos eléctricos _____ Cercos vivos _____ Árboles dentro los potreros _____ Bancos de proteína _____ Practicas para el manejo de agua y suelo _____ Bitácoras _____

3. Nutrición. Marcar con una X la opción que aplique por temporada e indicar la ración y la frecuencia correspondiente.

Nutrición	Temporada seca	Temporada lluvias	Ración	Frecuencia
Pasto en agostadero				
Forraje				
Alimentos balanceados ¿Qué tipo?				
Suplementos alimenticios (hormonales, vitaminas, sales minerales).				

CUESTIONARIO- GANADERÍA BOVINA**4. Insumos.** Marcar con una X la opción que aplique por temporada e indicar la dosis y la frecuencia correspondiente.

Insumos	Temporada seca	Temporada lluvias	Dosis	Frecuencia
Medicamentos y vacunas				
Desparasitantes internos				
Desparasitantes externos				
Materiales de limpieza y desinfección				

5. Agroquímicos en agostaderos. Marcar con una X la opción que aplique por temporada e indicar la dosis y la frecuencia correspondiente.

Agroquímicos	Temporada seca	Temporada lluvias	Dosis (kg/ha)	Frecuencia
Herbicidas				
Pesticidas				
Fertilizantes				
Otro				

6. Fuentes de agua

¿De dónde toma agua el ganado?

_____ Bebederos abastecidos por cuerpos de agua (ríos, arroyos, manantiales)

_____ Bebederos abastecidos por agua subterránea

_____ Directamente de los cuerpos de agua

Otros:

7. Prácticas de manejo e impactos potenciales

7.1. ¿Cuenta con algún tipo de infraestructura o práctica de manejo del estiércol de ganado? P. ej. canaletas, zanjas, biodigestores, composta, transporte a otro lugar.

Sí_____ No_____

7.2. ¿Considera que podría haber algún impacto negativo de las prácticas ganaderas sobre la calidad de los cuerpos de agua (p.ej. ríos, arroyos, manantiales) o del suelo? P. ej. transporte de nutrientes o bacterias relacionados con los escurrimientos superficiales, mayor pérdida o compactación del suelo.

Sí_____ No_____ No sé_____

8. Retos y oportunidades

8.1. ¿Cuáles considera que son los principales retos y oportunidades para llevar a cabo mejores prácticas de manejo del estiércol o reducir el uso de agroquímicos o algún otro insumo utilizado en las unidades de producción? P.ej. incentivos, costos, alternativas.

ANEXO 4

Análisis estadísticos (Paso 3)

Índice de Caracterización Socioeconómica (ICSE) y de brecha de género

Tabla A4.1. Ejemplo de los resultados obtenidos del PCA para la cuenca del RLA. *Indicadores seleccionados que contribuyen con más del 67% de la varianza total de los datos para el ICSE y brecha de género (valores de los cuatro primeros componentes rotados con pesos > 0.7).

Variable	Clave	RC1	RC2	RC3	RC4
Población que habla alguna lengua indígena	P5_HLL_NHE	0.212	0.751*	0.254	-0.121
Población afromexicana o afrodescendiente	POB_AFRO	-0.239	0.356	-0.122	0.327
Población sin escolaridad	P15YM_SE	0.284	0.74*	0.205	0.155
Población económicamente inactiva	PE_INAC	0.203	0.191	0.75*	0.239
Población sin afiliaciones a servicios de salud	PSINDER	-0.013	-0.05	-0.792*	0.11
Ocupación de viviendas particulares	PRO_OCUP_C	0.291	0.758*	-0.122	0.139
Viviendas con piso de tierra	VPH_PISOTI	0.624	0.597	0.044	0.032
Viviendas sin energía eléctrica	VPH_S_ELEC	0.528	0.346	0.112	0.01
Viviendas sin agua entubada	VPH_AGUAFV	0.686	0.181	-0.187	0.058
Viviendas con letrina (pozo u hoyo)	VPH_LETR	0.837*	0.147	0.244	0.023
Viviendas sin drenaje	VPH_NODREN	0.812*	0.249	0.241	0.058
Viviendas sin bienes materiales	VPH_SNBIEN	0.494	0.701*	0.293	-0.04
Unidades económicas (UE) con más de 250 personas empleadas	EST_PER_OCU	-0.145	-0.01	-0.087	-0.909*
Trabajo no remunerado	PTNR	0.194	0.821*	-0.221	-0.186
Tenencia de la tierra	PTT	-0.056	0.030	0.005	0.969*
Unidades económicas (UE) con más de 250 personas empleadas	EST_PER_OCU	-0.145	-0.01	-0.087	-0.909*

ANEXO 5

Geoprocesamiento de la integración y análisis para la identificación de subcuencas con mayor y menor provisión de SE

En esta sección se describen los pasos metodológicos para la integración de cada uno de los mapas de línea base derivados de la modelación con InVEST. El geoprocesamiento se llevó a cabo en ArcGIS Pro (ESRI, 2022) (Fig A5.1).

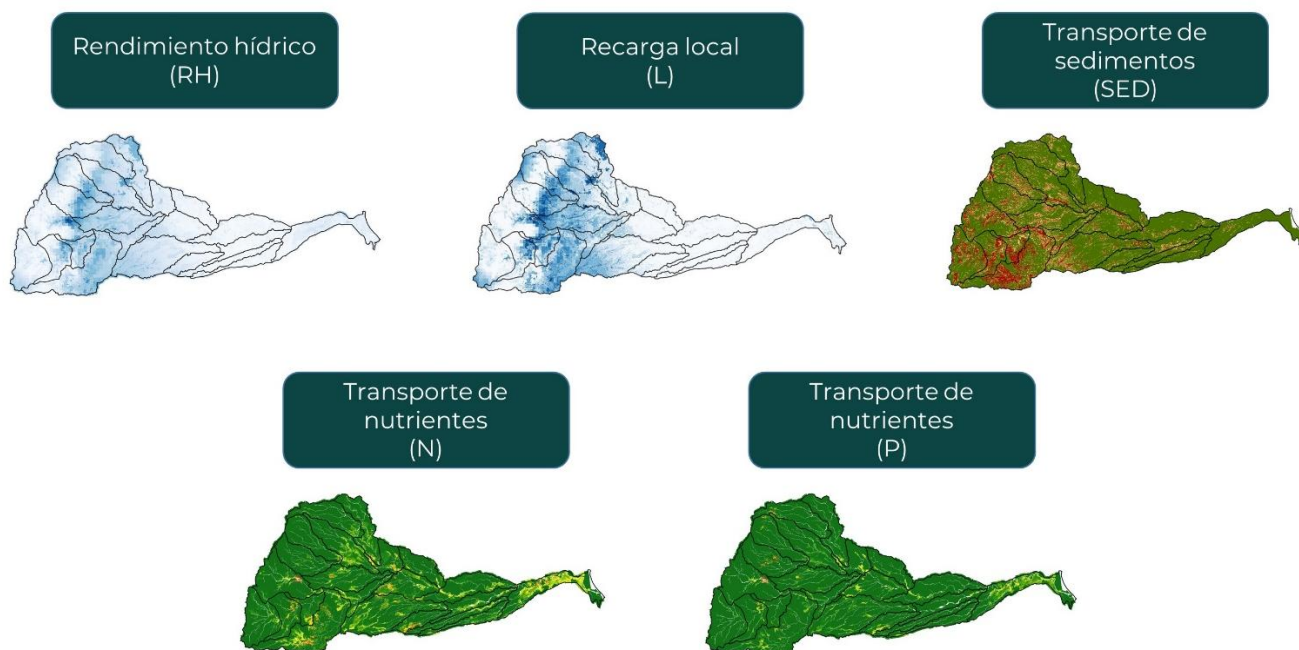


Fig. A5.1. Mapas de línea base para el análisis de la oferta o provisión de SE (modelación con la herramienta InVEST).

Objetivo

Identificar a los subcuencas con mayor y menor potencial para la provisión de SE en términos de cantidad (rendimiento hídrico) y calidad de agua (transporte de sedimentos y nutrientes)

Criterios de priorización de subcuencas

- Alto potencial para la provisión de SE en cantidad y calidad: Mayor rendimiento hídrico y menores tasas de transporte de sedimentos y nutrientes.
- Bajo potencial para la provisión de SE en cantidad y calidad: Menor rendimiento hídrico y mayores tasas de transporte de sedimentos y nutrientes.

Geoprocesamiento

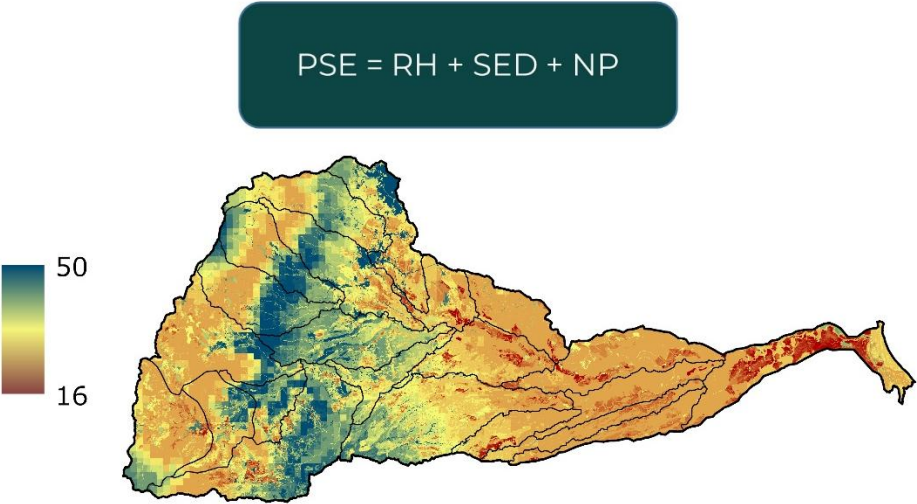
1. Estandarizar los valores de los mapas de línea base (RH, SED, N y P) con el uso de la calculadora ráster. El resultado son mapas con valores de 1-100.

Mapa de línea base	Clave	Resolución	Valores
Rendimiento hídrico y recarga local (L)	RH	30 m	1-100
Transporte de sedimentos	SED	30 m	1-100
Transporte potencial de nutrientes (N y P)	NP	30 m	1-100

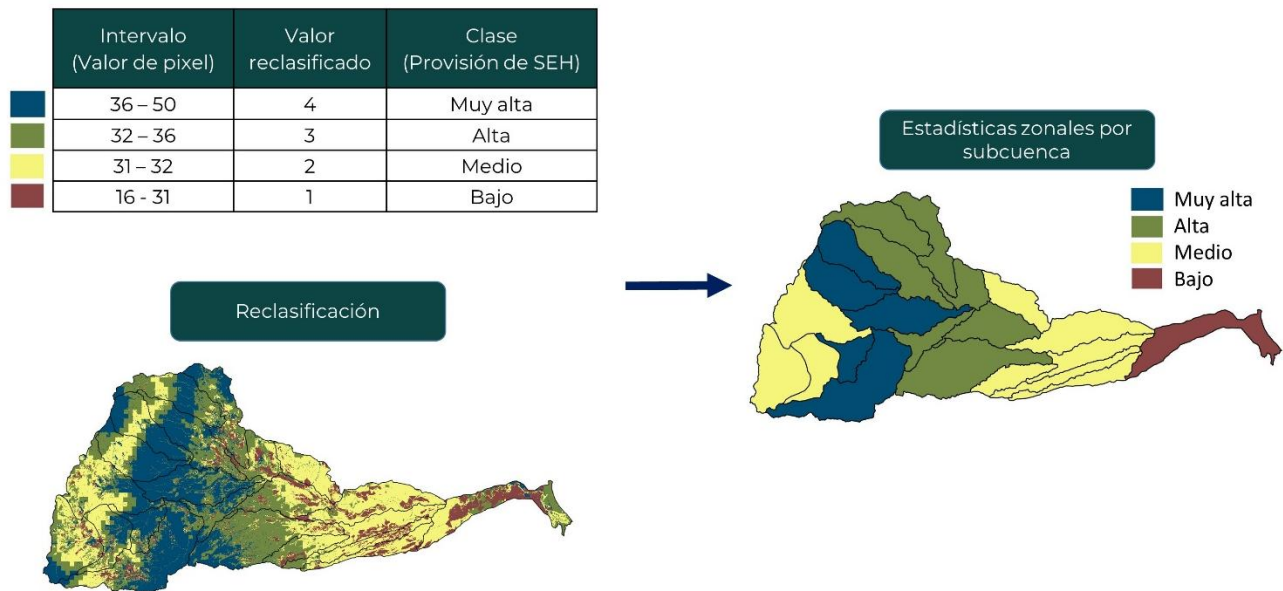
1. Reclasificar en 10 clases (clasificación por cortes naturales o *natural breaks*).

Mapa de línea base	Clave	Clasificación	
Rendimiento hídrico y recarga local (L)	RH	Máximo= 10	Mayor escurrimiento
		Mínimo= 1	Menor escurrimiento
Transporte de sedimentos	SED	Máximo= 1	Mayor erosión
		Mínimo= 10	Menor erosión
Transporte potencial de nutrientes (N y P)	NP	Máximo= 1	Mayor exportación de nutrientes
		Mínimo= 10	Menor exportación de nutrientes

2. Calcular con el uso de la calculadora ráster la provisión de SE (PSE), con base en la suma de los mapas reclasificados.

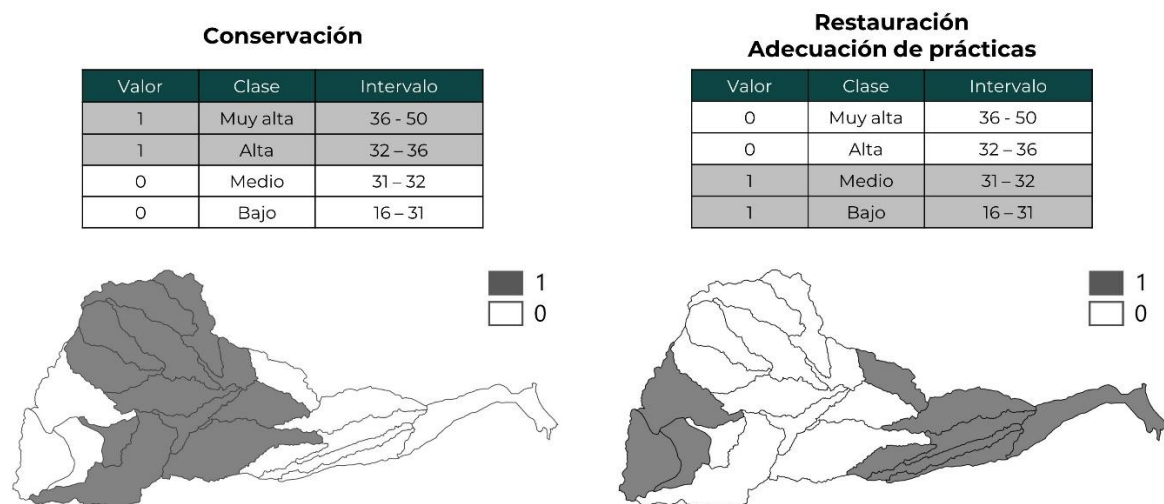


3. Reclasificar el mapa de PSE en cuatro clases y aplicar estadísticas zonales para asignar las categorías de jerarquización de muy alta a baja oferta o provisión de SE con base en el intervalo de valores obtenido para cada una de las subcuencas.



4. Priorización de subcuencas con base en los siguientes criterios:

- a) Subcuencas prioritarias para llevar a cabo **actividades de conservación** debido a su alto potencial para la provisión de SE en cantidad y calidad (clasificación muy alta y alta se les asigna el valor de 1).
- b) Subcuencas prioritarias para llevar a cabo **actividades de restauración o adecuación de prácticas productivas** debido a su bajo potencial para la provisión de SE en cantidad y calidad (clasificación media y baja se les asigna el valor de 1).



ANEXO 6

Tablas biofísicas para cada uno de los modelos InVEST (Cuenca “La Antigua”)

Rendimiento hídrico anual

description	lucode	root_depth	Kc	lulc_veg
AGRICULTURA GENERAL	1	900	1.1	1
BOSQUES	2	1250	1	1
CAFE	3	1200	1.05	1
CANA	4	1500	0.76	1
CUERPO DE AGUA	5	10	1	0
HUMEDAL/DUNAS COSTERAS	6	500	0.56	0
LIMON	7	1400	0.69	1
MAIZ	8	1350	0.54	1
MANGO	9	1500	0.81	1
PAPA	10	500	0.68	1
PASTIZAL	11	1000	0.9	1
SELVA	12	950	0.72	1
ZONA URBANA	13	0	0.3	0

Root depth: Valor numérico (mm). Corresponde a la máxima profundidad radicular de la vegetación en cada clase de uso de suelo. Usualmente es considerada la profundidad en la cual se encuentra el 95% de la biomasa radicular. Los valores pueden obtenerse a partir de muestreo en campo o con base en revisiones bibliográficas (Kim and Jung, 2020; Rodríguez-Huerta et al., 2019; Yang et al., 2019)

Kc: Valor numérico (adimensional). Coeficiente de cultivo de cada uso de suelo o vegetación. Se utiliza para calcular la evapotranspiración potencial con base en la evapotranspiración de referencia. Los valores se pueden asignar a partir de FAO (2006).

lulc_veg: Valor numérico (0 o 1). Código que indica si la clase de uso de suelo corresponde a vegetación para el cálculo de la evapotranspiración real. El valor 1 debe ser asignado a todas las clases de vegetación a excepción de humedales, y 0 para el resto de clases (p.ej. humedales, áreas urbanas, cuerpos de agua).

Parámetro z: Valor numérico (adimensional). Factor de temporalidad que representa las características hidrogeológicas y la distribución estacional de la precipitación. Los valores oscilan entre 1 y 30. El valor z puede estimarse como $0.2 * N$, donde N es el número de eventos de lluvia por año. Para las cuencas PAMIC, se consideró el número de días con lluvia desde las normales climatológicas 1981-2010 obtenidas a partir de las estaciones presentes en las cuencas y ponderaciones por superficie obtenida mediante polígonos de Thiessen. Por ejemplo, el valor asignado a la cuenca “La Antigua” fue de 26.73.

Rendimiento hídrico estacional

description	lucode	Kc_1	Kc_2	Kc_3	Kc_4	Kc_5	Kc_6	Kc_7	Kc_8	Kc_9	Kc_10	Kc_11	Kc_12	CN_A	CN_B	CN_C	CN_D
AGRICULTURA GENERAL	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	63	74	81	84
BOSQUES	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	36	60	73	79
CAFE	3	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	30	55	70	77
CANA	4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.02	1.02	1.02	1.02	0.9	0.7	64	74	81	84
CUERPO DE AGUA	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98
HUMEDAL	6	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	55	71	81	89
LIMON	7	0.65	0.67	0.69	0.7	0.71	0.72	0.72	0.71	0.7	0.68	0.67	0.65	36	60	73	79
MAIZ	8	0.3	0.3	0.3	0.42	0.42	0.6	0.7	0.9	1.05	1	0.3	0.3	63	74	81	84
MANGO	9	0.6	0.75	0.85	1	1	1	0.85	0.75	0.7	0.7	0.7	0.6	36	60	73	79
PAPA	10	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.15	0.5	0.5	0.5	63	74	81	84
PASTIZAL	11	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	49	69	79	84
SELVA	12	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	36	60	73	79
ZONA URBANA	13	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	52	70	80	84

Kc_{no}: Valor numérico (adimensional). Coeficiente de cultivo o de vegetación mensual (Kc). Los valores asignados se tomaron de (FAO, 2006). La temporalidad de los cultivos a lo largo del año (riego o temporal) se realizó con base a la información recolectada en campo (entrevistas a productores) e información de las agendas tecnológicas agrícolas (INIFAP, 2018).

CN_A, B, C y D: Valor numérico (adimensional). Valores del número de curva (> 0) para cada combinación de grupo edafológico y clase de uso de suelo. Los valores específicos por grupo de suelo se tomaron de Calva (2020) en función de la clasificación edafológica (INEGI, 2013).

Parámetro alpha_m: Valor predeterminado (1/2). Corresponde a un valor de referencia de la proporción de recarga local anual que está disponible cada mes.

Parámetro beta_i: Valor predeterminado (1). Parámetro relacionado con la topografía y el suelo para la cantidad de recarga en un gradiente ascendente.

Parámetro gamma: Valor predeterminado (1). Fracción de recarga en un punto determinado que está disponible aguas abajo.

Transporte potencial de sedimentos

description	lucode	usle_c	usle_p
AGRICULTURA GENERAL	1	0.5	1
BOSQUES	2	0.01	1
CAFE	3	0.1	1
CANA	4	0.5	1
CUERPO DE AGUA	5	0	1
HUMEDAL/DUNAS COSTERAS	6	0.2	1
LIMON	7	0.5	1
MAIZ	8	0.5	1
MANGO	9	0.5	1
PAPA	10	0.5	1
PASTIZAL	11	0.1	1
SELVA	12	0.03	1
ZONA URBANA	13	0.1	1

Usle_c: Valor de proporción (0-1). Factor de vegetación y usos de suelo (RUSLE) (Benavidez et al., 2018; Benez-Secanho and Dwivedi, 2020; Castro Mendoza, 2013; Hamel and Guswa, 2015; Marques et al., 2021; Montes-León et al., 2011; Reteruate, 2000).

Usle_p: Valor de proporción (0-1). Factor de prácticas de conservación de suelos (rUSLE), que reflejan acciones que pueden afectar el patrón de flujo, grado de pendiente, modificación de la dirección y cantidad de escurrimiento (Benavidez et al., 2018; Benez-Secanho and Dwivedi, 2020; Castro Mendoza, 2013; Hamel and Guswa, 2015; Marques et al., 2021; Montes-León et al., 2011; Reteruate, 2000).

Umbral de acumulación de flujo: valor numérico (1000-valor de referencia). El número de píxeles de pendiente ascendente que deben fluir en un píxel antes de que se clasifique como una corriente. Es importante comparar este valor con la red hidrográfica para que los flujos modelados se aproximen lo más posible a la realidad.

Parámetro Borselli k: valor predeterminado (2).

Parámetro Borselli IC0: valor predeterminado (0.5).

Valor SDR: valor predeterminado (0.8).

Valor máximo de L: valor predeterminado (122).

Transporte potencial de nutrientes

description	lucode	load_p	eff_p	crit_len_p	load_n	eff_n	crit_len_n	proportion_subsurface_n
AGRICULTURA GENERAL	1	4.8	0.15	30	45.9	0.15	30	0
BOSQUES	2	0.1	0.8	30	0.1	0.8	30	0
CAFE	3	23	0.25	30	57	0.25	30	0
CANA	4	45	0.25	30	107	0.25	30	0
CUERPO DE AGUA	5	0.001	0.5	30	0.001	0.5	30	0
HUMEDAL/DUNAS COSTERAS	6	0.1	0.8	30	1.4	0.8	30	0
LIMON	7	49	0.25	30	122	0.25	30	0
MAIZ	8	31	0.25	30	61	0.25	30	0
MANGO	9	57	0.25	30	136	0.25	30	0
PAPA	10	153	0.25	30	60	0.25	30	0
PASTIZAL	11	0.4	0.25	30	0.4	0.25	30	0
SELVA	12	0.1	0.8	30	0.1	0.8	30	0
ZONA URBANA	13	2.5	0.05	30	10	0.05	30	0

Load_[p/n]: Carga de nutrientes asignada a cada clase de uso de suelo y vegetación (kg/ha-año) Valores con base en resultados de entrevistas y revisiones bibliográficas (Benez-Secanho and Dwivedi, 2019; Han et al., 2021; Hou et al., 2020; Willemen et al., 2019; Wu et al., 2021).

Eff_[p/n]: Valor de proporción (0-1). Máxima eficiencia de retención de nutrientes para cada clase de USV (Benez-Secanho and Dwivedi, 2019; Han et al., 2021; Hou et al., 2020; Willemen et al., 2019; Wu et al., 2021).

Crit_len_[p/n]: Valor numérico (m). Distancia después de la cual se asume que los nutrientes son retenidos de acuerdo con los tipos de suelo.

Proportion_subsurface_n: Valor de proporción (0-1). Proporción de la cantidad total de nitrógeno que se disuelve en el subsuelo.

Umbral de acumulación de flujo: valor numérico (1000-valor de referencia). El número de píxeles de pendiente ascendente que deben fluir en un píxel antes de que se clasifique como una corriente. Es importante comparar este valor con la red hidrográfica para que los flujos modelados se aproximen lo más posible a la realidad.

Parámetro Borselli k : valor predeterminado (2).

Subsurface Critical Length (N): valor predeterminado (200).

Subsurface Maximum Retention Efficiency (N): valor predeterminado (0.8).

ANEXO 7

Análisis estadísticos (Paso 9)

Tabla A7.1. Ejemplo de los resultados de las pruebas estadísticas por pares (nivel de significancia=0.05) entre escenarios (CON= Conservación, RES=Restauración, APP=Adecuación de prácticas productivas) y línea base para el rendimiento hídrico anual y estacional, la pérdida potencial de suelo y el transporte potencial de nutrientes (N y P) en la Cuenca del RLA (a) y entre subcuencas (b).

	Rendimiento hídrico			Recarga local			Pérdida de suelo			Transporte de N			Transporte de P		
Kruskall Wallis Test	H=427.65 gl= 3 Valor p = 0			H=398.20 gl= 3 Valor p = 0			H=3102.72 gl= 3 Valor p =0			H=86.86 gl= 3 Valor p = 0			H=79.463 gl= 3 Valor p = 0		
Test post-hoc Dunn:															
a) Escenarios a nivel de cuenca															
Conservación (CONS)	0			0			0.5975			0.0003			0.0004		
Restauración (REST)	0			0			0.0705			0.0455			0.0466		
Adecuación de prácticas (ADEC)	0			0			0			0			0		
b) Subcuencas															
Línea base	CON	RES	APP	CON	RES	APP	CON	RES	APP	CON	RES	APP	CON	RES	APP
1- Cabezas	0.0939	0.1305	0.1159	1	1	1	1	1	0.3345	1	0.0313*	0.0229*	1	0.0231*	0.0346*
2- Rinconada	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3- Tlaltetela (Xotla)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.0481*	1	1	1	1
4- Mata de Jobo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5- Hato de la Higuera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6- Estación Chavarrillo	1	1	1	1	1	1	1	1	0.0001*	1	1	1	1	1	1
7- Tlaltetela (Tlaltetela)	0.0290*	0.0317*	0.0218*	1	1	1	1	1	0.0093*	0.0434*	1	0.0271*	0.0299*	1	1
8- Tlaltetela (Poxtla)	0*	0*	0*	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
9- Tlacuatzintla	1	0.8768	1	0.0271*	0.0114*	0.0258*	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10- Tuzamapan	1	0.8706	1	1	1	1	1	1	0.0453	1	1	0.0344*	1	1	1
11- Teocelo	0.0393	0.0254*	0.0370*	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
12- Tlaltetela (Pinillos)	0.2358	0.0261*	0.2983	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
13- Xalapa-Enríquez	0.4140	0.0396*	0.0304*	0.0140*	0.0279*	0.0332*	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
14- Rancho Viejo	0.0128*	0.0447*	0.0470*	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
15- San Marcos de León	0.0178*	0.0072*	0.0056*	1	1	1	1	1	0*	1	0.0170*	1	1	1	1
16- Xico	1	1	1	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
17- Tonalaco	1	1	1	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
18- Ixhuacán de los Reyes	1	0.8812	1	1	0.0427*	0.0116*	1	1	0*	0.0225*	1	1	1	0.0204*	1
19- Tozihuic	1	1	1	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1
20- Chihiquila	0.0150*	0.0199*	0.0231*	1	1	1	1	1	0*	0.0421*	1	0.0329*	1	1	1
21- Quimixtlán	1	1	1	1	1	1	1	1	0*	0.0329*	0.0221*	1	1	0.0314*	1
22- Rafael J. García	1	0.3531	0.6309	1	1	1	1	1	0*	1	1	1	1	1	1

Leyenda: H- Resultados de la prueba Kruskal Wallis; gl-grados de libertad; valores P: * p < 0.05; los valores que se muestran en el apartado de subcuencas (b) corresponden a los resultados (valores p) de la prueba post-hoc Dunn Test comparados con la línea base.

El **Fondo para el Medio Ambiente Mundial** (GEF, por sus siglas en inglés) es una familia multilateral de fondos dedicada a enfrentar la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y la contaminación, y busca apoyar la salud de la tierra y los océanos. Su financiamiento permite que los países en desarrollo aborden desafíos complejos y trabajen hacia el cumplimiento de los objetivos ambientales internacionales. La asociación incluye a 186 gobiernos miembros, así como a la sociedad civil, pueblos indígenas, mujeres y jóvenes, con un enfoque en la integración y la inclusividad. Durante las últimas tres décadas, el GEF ha proporcionado más de 25 mil millones de dólares en financiamiento y ha movilizado 145 mil millones de dólares para proyectos prioritarios impulsados por los países. La familia de fondos incluye el Fondo Fiduciario del GEF, el Fondo del Marco Global para la Biodiversidad (GBFF, por sus siglas en inglés), el Fondo para los Países Menos Adelantados (LDCF, por sus siglas en inglés), el Fondo Especial para el Cambio Climático (SCCF, por sus siglas en inglés), el Fondo para la Implementación del Protocolo de Nagoya (NPIF, por sus siglas en inglés) y la Iniciativa de Creación de Capacidades para la Transparencia (CBIT).

El **Fondo Verde para el Clima** (GCF, por sus siglas en inglés) es el fondo climático más grande del mundo. Su mandato es fomentar un cambio de paradigma hacia vías de desarrollo resilientes al clima y de bajas emisiones en los países en desarrollo. El GCF cuenta con una cartera de proyectos y programas en más de 100 países. También tiene un programa de apoyo para la preparación, destinado a desarrollar capacidades y ayudar a los países a elaborar planes a largo plazo para combatir el cambio climático. El GCF es una entidad operativa del mecanismo financiero de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y apoya el Acuerdo de París de 2015, cuyo objetivo es mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los dos grados Celsius.



Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



INECC
INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



Implementado por
BANCO MUNDIAL
BIRF • AIF



En colaboración con
**FONDO MEXICANO
PARA LA CONSERVACIÓN
DE LA NATURALEZA, A.C.**
INSTITUCIÓN PRIVADA

