

Plan de Acción para el Manejo Integral de Cuencas

Cuenca del Río Tuxpan

2025



**PLAN DE ACCIÓN PARA EL MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS:
CUENCA DEL RÍO TUXPAN**

Primera edición, 2025.

DR © 2025, INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Bld. 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

Mariana Morales Hernández

Titular del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable y encargada de despacho de la Dirección General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

José Ernesto Carmona Gómez

Coordinador General de Adaptación al Cambio Climático y Ecología

Diana Gabriela Lope Alzina

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

José Alfredo Galindo Sosa

Gerente de Consejos de Cuenca de la Comisión Nacional del Agua

Elaboración y coordinación del Plan de Acción para el Manejo Integral de Cuencas (PAMIC): Cuenca del Río Tuxpan

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN)

Daniela Ávila-García- Oficial de Modelación Técnica

Diseño técnico-participativo, conceptual y metodológico

Revisión e integración de la información

Luis Enrique Hernández Salinas- Analista-Especialista Técnico

Jannice Alvarado Velázquez y Alejandro Rosas Cruz- Consultores externos

Modelación, análisis y recopilación de información temática

Elaboración del material cartográfico

Florencia Cicchini- Oficial de Género y Vulnerabilidad Social

Co-diseño del componente participativo

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

Coordinación técnica

Sergio Miguel López Ramírez- Director de Manejo Sostenible

Coordinación operativa

Fondo Golfo de México (FGM)

Leonel Zavaleta Lizárraga- Director Ejecutivo

Isauro S. Cortés Flores- Oficial de Desarrollo Sostenible

Beatriz Del Valle Cárdenas- Coordinadora de Programas

Eva B. Cano González- Oficial de Monitoreo, Salvaguardas y Género

Agradecimientos a las personas y actores institucionales que participaron en los talleres y colaboraron en la elaboración o revisión del PAMIC:

Agroproductores Forestales de Zacualpan S.P.R. de R.L.; AMECORENA A.C.; Asociación de Usuarios de Riego El Tamarindo Rincón Zapote, S. C. DE R. L.; Ayuntamiento Municipal de Citlaltépetl; Brigada de Educación para el Desarrollo Rural No. 18; Carolina Salcedo (CONAGUA); Centro de Estudios Socioeconómicos para el Desarrollo Social A.C.; Centro de Estudios Tecnológicos del Mar No. 20; Centro Ecoturístico Tlenkuali; Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO); CESADESH A.C.; Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP); Consejo Consultivo de Pueblos Indígenas de Veracruz; Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA); Fundación Pedro y Elena Hernández A.C.; Fundación Yépez A.C.; Igualdad y Equidad para los Pueblos de México; Instituto de Ecología A.C.; Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache; Marina Romero Cazares (INECC); Municipio de Álamo; Municipio de Huayacocotla; Municipio de Tuxpan; Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA); Red OSC; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER); Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca de Veracruz (SEDARPA); Secretaría de Medio Ambiente de Veracruz; Secretaría de Salud de Veracruz; Sembrando Vida; Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan y Santuario Playas del Totonacapan-CONANP; Universidad Veracruzana; Universidad Veracruzana Intercultural; Unidad Coordinadora Operativa (Jennifer Rangel, Karín Mijangos y Jianguo Olea) y Técnica (Denisse G. Morales y José Gerardo Alonso) del proyecto CONECTA.

Portada: Huayacocotla, Veracruz, 2023. 📷 Víctor Salinas.

Forma de citar:

INECC-FMCN, 2025 Ávila-García, D.; Hernández, E.; Alvarado, J.; Rosas A.; Fernández-Montes de Oca, A.; Cicchini, F.; y López S. Plan de Acción para el Manejo Integral de Cuencas Hídricas: Cuenca Río Tuxpan. 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 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 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.



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.**
FMCN
INSTITUCIÓN PRIVADA



FGM



ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| ACRÓNIMOS | 6 |
| RESUMEN | 9 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1. Servicios ecosistémicos y planeación territorial con enfoque de cuenca | 11 |
| 2. PLANES DE ACCIÓN PARA EL MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS (PAMIC) | 14 |
| 2.1. Objetivo general de los PAMIC | 15 |
| 2.2. Objetivos específicos | 15 |
| 2.3. Componentes metodológicos de los PAMIC | 16 |
| 2.3.1. Componente técnico-científico | 16 |
| 2.3.2. Componente participativo | 18 |
| 2.3.3. Proceso de integración | 19 |
| 3. CUENCA DEL RÍO TUXPAN | 22 |
| 3.1. Caracterización biofísica | 22 |
| 3.1.1. Localización | 22 |
| 3.1.2. Uso de suelo y vegetación | 22 |
| 3.1.3. Subcuencas | 23 |
| 3.1.4. Tipos de suelo | 27 |
| 3.1.5. Clima | 28 |
| 3.2. Caracterización socio-económica | 35 |
| 3.2.1. Población | 35 |
| 3.2.2. Tenencia de la tierra | 38 |
| 3.2.3. Delimitación municipal y unidades económicas | 41 |
| 3.2.4. Actividades ganaderas y de aprovechamiento forestal | 43 |
| 3.2.5. Vulnerabilidad de la ganadería al cambio climático | 46 |
| 3.2.6. Índice de Caracterización Socioeconómica (ICSE) y de brecha de género | 49 |
| 3.3. Caracterización político institucional | 56 |
| 3.3.1. Gestión institucional del agua | 56 |
| 3.4.2. Instrumentos de planeación y áreas de importancia ambiental | 58 |
| ANÁLISIS DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LA CUENCA DEL RÍO TUXPAN | 63 |
| 4. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (SE) | 63 |
| 4.1. Oferta o provisión de servicios ecosistémicos | 64 |
| 4.1.1. Provisión de agua- Rendimiento hídrico | 66 |
| 4.2.2. Transporte de sedimentos | 69 |
| 4.3.3. Transporte de nutrientes | 71 |
| 5. DEMANDA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS | 74 |

| | |
|---|------------|
| 5.1. Volúmenes de extracción de agua superficial y subterránea | 76 |
| 5.1.1. Demanda de agua superficial | 77 |
| 5.1.2. Demanda de agua subterránea | 79 |
| 6. Conectividad hidrográfica | 81 |
| 7. Escenarios para la evaluación de impactos futuros o alternativos | 84 |
| 7.1. Escenarios de cambio climático | 84 |
| 7.2. Escenarios de usos de suelo y vegetación | 86 |
| 8. Proceso de integración para la priorización territorial y focalización de intervenciones | 89 |
| 9. Agenda ambiental | 94 |
| 9.1. Actividades o eventos con mayor impacto potencial en la provisión y mantenimiento de los servicios ecosistémicos (SE) con perspectiva de género. | 95 |
| 9.1.1. Ganadería y producción de carne bovina y lácteos | 96 |
| 9.1.2. Descargas residuales y contaminación | 97 |
| 9.1.3. Uso de agroquímicos | 98 |
| 9.1.4. Extracción de agua | 99 |
| 9.1.5. Eventos extremos: inundaciones, sequías y olas de calor | 100 |
| 9.2. Priorización territorial por enfoque | 101 |
| 9.2.1. Actividades de conservación | 101 |
| 9.2.2. Actividades de restauración | 105 |
| 9.2.3. Adecuación de prácticas productivas | 107 |
| 9.3. Focalización de acciones prioritarias en la cuenca del Río Tuxpan. | 111 |
| 9.3.1. Actividades prioritarias para la provisión y mantenimiento de los servicios ecosistémicos (SE) | 111 |
| 9.3.2. Programas de conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas identificados en la cuenca del Río Tuxpan | 115 |
| 9.3.3. Subcuencas prioritarias | 118 |
| 10. CONCLUSIONES | 124 |
| 11. RECOMENDACIONES Y PERSPECTIVAS A FUTURO | 129 |
| GLOSARIO | 131 |
| REFERENCIAS | 134 |
| ANEXO 1. Valores de indicadores del ICSE y brecha de género | 140 |
| ANEXO 2. Resumen de los parámetros utilizados en InVEST | 147 |
| ANEXO 3. Catálogo de proyectos | 148 |
| ANEXO 4. Recomendaciones para la transversalización de la perspectiva de género en iniciativas de restauración, conservación y adecuación de prácticas productivas | 153 |
| ANEXO 5. Registro fotográfico | 156 |

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 |
| APFFSALT | Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan |
| BM | Banco Mundial (<i>World Bank</i>) |
| CMIP | Proyecto de Inter comparación de Modelos Acoplados (<i>Coupled Model Intercomparison Projects</i>) |
| CMNUCC | Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático |
| 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>) |
| ICSE | Índice de Caracterización Socioeconómica |
| INAES | Instituto Nacional de la Economía Social |
| 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 |
| MARACC | Mapa de Resiliencia Ante el Cambio Climático |
| 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 para el Manejo Integral de Cuencas |
| PCA | Análisis de componentes principales (<i>Principal Component Analysis</i>) |
| PdG | Perspectiva de Género |
| PHR | Programa Hídrico Regional |
| PNH | Programa Nacional Hídrico |
| PROCOCODES | Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible |
| PSA | Pago por Servicios Ambientales |
| RAN | Registro Agrario Nacional |
| REPDA | Registro Público de Derechos del Agua |
| RT | Río Tuxpan |
| 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 |
| SEMADET | Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| SIG | Sistemas 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 | Uso de suelo y vegetación |



RESUMEN

Los recursos hídricos son sensibles a cambios del paisaje y al cambio climático, lo que afecta significativamente la provisión de **servicios ecosistémicos (SE)**. Entre las principales alteraciones asociadas al cambio climático destacan sequías prolongadas, eventos extremos de precipitación y desequilibrios hídricos. Estas presiones han intensificado la necesidad de políticas sostenibles para abordar las demandas crecientes de la población y mitigar las crisis socioecológicas. En México, los **Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas (PAMIC)** representan una herramienta clave para la planificación y gestión territorial que integra la oferta y demanda de SE hidrológicos con escenarios de cambio climático y cambios en el uso de suelo y vegetación.

En el marco del proyecto CONECTA, los PAMIC se desarrollan en 15 cuencas de Chiapas, Chihuahua, Veracruz y Jalisco, utilizando herramientas de modelación hidrológica y análisis estadísticos, que se complementan con una base participativa y con perspectiva de género. Los resultados en la **Cuenca Río Tuxpan de Veracruz** muestran que los SE relacionados con la provisión de agua y retención de nutrientes destacan por su mayor presencia en donde predominan coberturas como los bosques de encino, pino y el bosque mesófilo de montaña, que desempeñan un papel crucial en la regulación hídrica y la calidad del agua y el suelo. Por otro lado, el control del transporte de sedimentos, esencial para la prevención de la erosión y la protección de laderas, es significativamente mayor en la zona media de la cuenca. Las principales cargas de sedimentos, originadas por procesos de erosión hídrica del suelo, predominan en las subcuencas: Zacualpan, San Bartolo Tutotepec, San Juan de las Flores, Buena Vista y Xuchitlán, en donde se presentan pendientes pronunciadas y usos de suelo agropecuarios.

Los resultados del proceso metodológico destacan los riesgos asociados con la erosión del suelo y la carga de nutrientes asociadas con las actividades agropecuarias intensivas. El enfoque integral y sistémico de los PAMIC permitió identificar tres subcuencas prioritarias (Ameluca, Mecapalapa y San Bartolo Tutotepec) para llevar a cabo acciones de conservación, restauración o la adecuación de prácticas productivas, aunque estos resultados deben interpretarse considerando limitaciones metodológicas y contextuales. Además, los PAMIC subrayan la importancia de promover una visión a largo plazo alineada con diferentes iniciativas públicas y privadas para identificar sinergias y optimizar las inversiones a nivel de cuenca hidrográfica.

Los PAMIC representan una herramienta de diagnóstico y planeación que promueve un modelo dinámico e integral para identificar y priorizar acciones que optimicen la funcionalidad territorial, incorporando un análisis de las desigualdades socioeconómicas y de género. Las recomendaciones derivadas tanto de información primaria como secundaria, incluyen monitoreo ambiental, llevar a cabo actividades de restauración, uso y manejo sostenible del agua, captación de agua pluvial, sistemas agroforestales, uso de bioinsumos y rehabilitación de pastizales con especies nativas. Este esquema representa un avance significativo en la planificación territorial de la cuenca del Río Tuxpan (RT), contribuyendo a un equilibrio entre producción, conservación y resiliencia frente a los impactos potenciales del cambio climático y las dinámicas socioeconómicas.

Palabras clave: PAMIC, servicios ecosistémicos, cambio climático, planeación territorial, cuencas hidrográficas.

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.

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 lleva a cabo la elaboración de 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.

La cuenca del Río Tuxpan (RT), ubicada predominantemente en el estado de Veracruz, se extiende sobre una superficie de aproximadamente 6,755 km². Sus dos principales afluentes son el río Vinazco, que se origina en el estado de Hidalgo, y el río Pantepec, que nace en el estado de Puebla, ambos ingresan al territorio veracruzano y, en el municipio de Temapache, confluyen para formar el RT, cuyo escurrimiento superficial desemboca en el Golfo de México (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes, 2016). Esta cuenca alberga una variedad de ecosistemas, desde humedales hasta bosques tropicales, que sostienen numerosas especies de flora y fauna. Una de las principales zonas de importancia ecológica en la cuenca del RT es el ANP Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, el cual cuenta con una superficie de 305.7 km² y alberga siete arrecifes coralinos que se encuentran entre uno y 30 metros de profundidad (CONANP, 2014). El Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (APFFSALT) es el segundo ecosistema arrecifal más importante en el sur del Golfo de México (CONANP, 2014). Las principales amenazas para este sistema arrecifal provienen de diversas actividades humanas, como el desarrollo costero sin planificación, la sobrepesca, las prácticas

turísticas sin regulación, la contaminación generada por el escurrimiento de fertilizantes agrícolas y aguas residuales, así como el cambio climático, que incrementa la temperatura de los océanos. Adicionalmente, en el área del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, la generación de energía eléctrica, representada por el Complejo Termoeléctrico Presidente Adolfo López Mateos, agrega una fuente adicional de presión ambiental (INEGI, 2016; CONANP, 2014).

Por otro lado, en las zonas altas de la cuenca del río Tuxpan, actividades como la deforestación, el cambio de uso de suelo para la construcción de viviendas y caminos, el uso de agroquímicos en la agricultura, y la descarga de aguas residuales e industriales no tratadas en las cuencas de los ríos Pánuco y Tuxpan generan contaminantes y sedimentos (CONANP, 2014). Estos son transportados por los ríos y las corrientes marinas hacia los arrecifes. El aumento de sedimentos en las aguas costeras ejerce una fuerte presión sobre los ecosistemas, ya que dificulta el paso de luz necesaria para la fotosíntesis y pone en riesgo la supervivencia de los corales.

De acuerdo con lo anterior, el PAMIC de la cuenca del Río Tuxpan 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 beneficiarias) de SE hidrológicos, incorporando a su vez, escenarios de cambio climático y cambios potenciales de uso de suelo y vegetación. De esta forma, el PAMIC tiene como propósito fortalecer la toma de decisiones para guiar y proponer diferentes intervenciones en el territorio; identificando y optimizando los recursos, esfuerzos e inversiones que puedan estar alineados a los diferentes programas de políticas públicas que inciden en la cuenca.

En resumen, el PAMIC representa 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, con base en un enfoque sistémico a nivel de cuenca hidrográfica.

1.1. Servicios ecosistémicos y planeación territorial con enfoque de cuenca

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). Estos SE 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 (IPBES; Díaz et al., 2018).

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).

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, 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 las dinámicas hidrológicas que se presentan en las cuencas hidrográficas.

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; Mass, 2012).

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 diferentes procesos socio-ecológicos que consideran una estructura de variables sociales y biofísicas relacionadas con los recursos que inciden en el bienestar humano, en donde los cuerpos de agua, como los ríos o los lagos, juegan un papel importante en el bienestar humano y en el funcionamiento de los ecosistemas (Comín et al., 2018).

Por otro lado, los cambios en el uso y la distribución de los SE pueden tener impactos diferenciados entre las personas que conforman comunidades asentadas en la cuenca, debido a que el acceso y la gestión de los recursos podría estar determinado por su ubicación territorial, reglas o acuerdos locales, actividades productivas, tipos de tenencia de la tierra, etnicidad, condición social o contexto cultural (Daw et al., 2011; Peh et al., 2013). Ante esta situación, el enfoque de cuenca en el manejo y planeación territorial promueve la integración de las personas involucradas en una problemática común, en lugar de atender problemas sectoriales dispersos. 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 y condiciones de las personas (Cotler, 2007).

Por ejemplo, en algunos casos, las personas beneficiarias que asumen los costos de mantener la provisión de los SE podrían necesitar ser compensadas por otras personas 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 territorial** para la protección de ecosistemas y el mantenimiento de sus SE a nivel de cuenca hidrográfica es clave 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.

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. 1):

- 1) El funcionamiento de los ecosistemas y sus SE.
- 2) Los impactos potenciales tanto positivos como negativos derivados de las dinámicas socio-económicas.
- 3) Las 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 (USV).

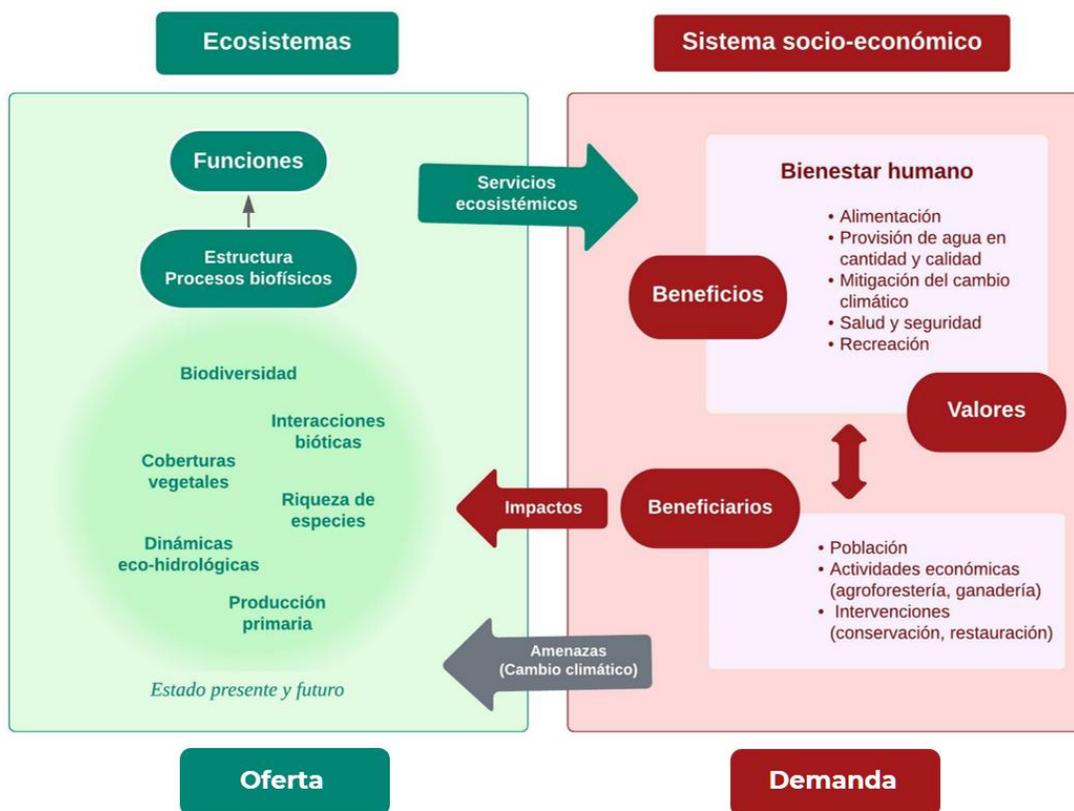


Fig. 1. Marco conceptual para el análisis y evaluación de servicios ecosistémicos de los PAMIC. Adaptado de Potschin & Haines-Young (2011); Maes et al. (2013).

2. Planes de Acción para el Manejo Integral de Cuencas (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. 2).

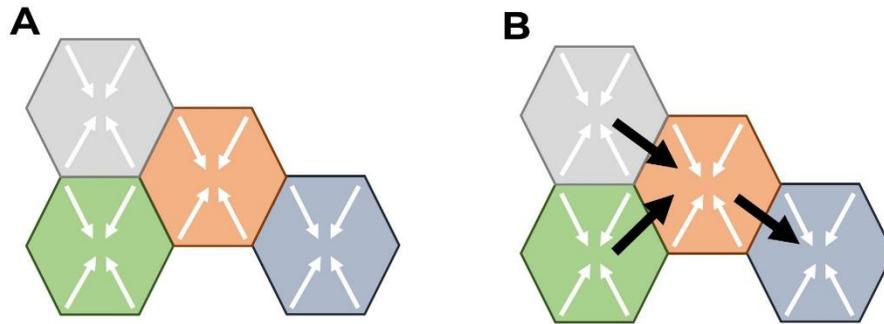


Fig. 2. Modelos conceptuales de los Ordenamientos Ecológicos Territoriales (OET) y los PAMIC. A) Modelo conceptual de la caracterización y análisis de las unidades de planeación de los OET considerando únicamente sus atributos internos (flechas blancas). B) Modelo conceptual de los PAMIC con base en 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.

2.1. 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.

2.2. 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.

2.3. 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 continua de seguimiento, actualización y monitoreo en coordinación con los diferentes actores en el territorio (Fig. 3).



Fig. 3. Componentes de los PAMIC.

2.3.1. Componente técnico-científico

El componente técnico (analítico-relacional) para la priorización territorial de los PAMIC se resume de la siguiente manera (Fig. 4):

- 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 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.

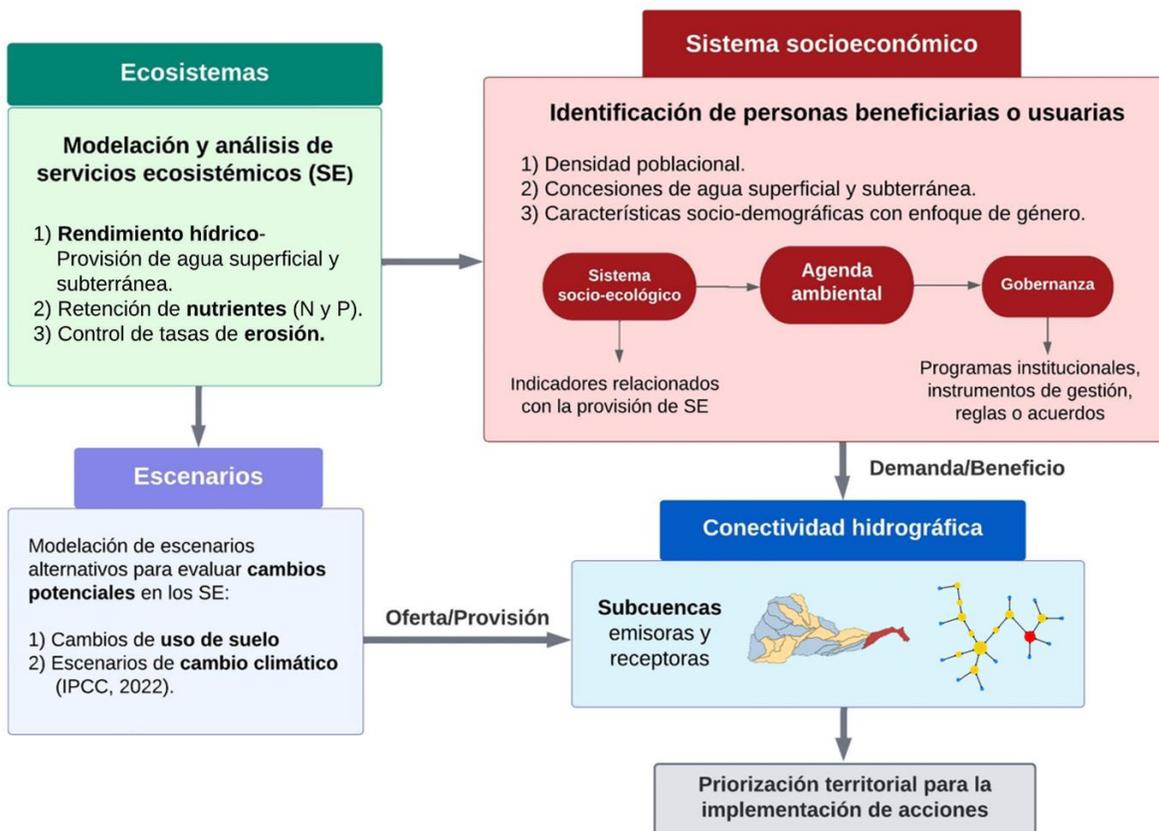


Fig. 4. Esquema conceptual del componente técnico de los PAMIC.

2.3.2. 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 los diversos actores de la cuenca para conocer el proceso y los objetivos de la elaboración de los PAMIC. El proceso de planeación e implementación del componente participativo incorpora la visión territorial de las comunidades y propietarios del territorio, así como la perspectiva de género, intercultural e intergeneracional, fomentando la participación activa de las mujeres. También busca incorporar aspectos técnicos sobre los vínculos entre género, provisión y aprovechamiento de los SE.

Este componente se desarrolla a partir de diversas sesiones participativas que pueden variar de acuerdo con cada uno de los contextos territoriales (p. ej. visitas de campo, entrevistas y talleres dirigidos a diferentes actores y personas interesadas con incidencia en las cuencas de estudio) (Fig. 5). De esta forma, se busca fortalecer la apropiación e implementación de los PAMIC desde el inicio de su diseño y hasta su aplicación territorial.

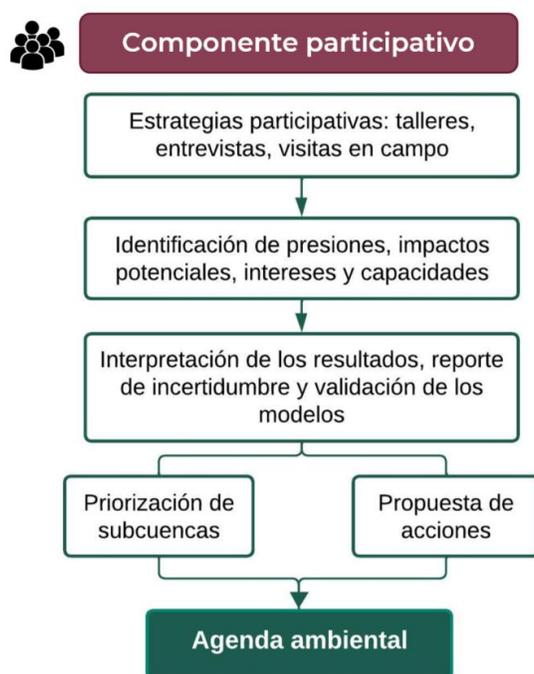




Fig. 5. Esquema conceptual del componente participativo de los PAMIC.

2.3.3. 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 a detalle en la guía metodológica de los PAMIC. Estos pasos se pueden clasificar en dos etapas (Fig. 6):

- **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 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.

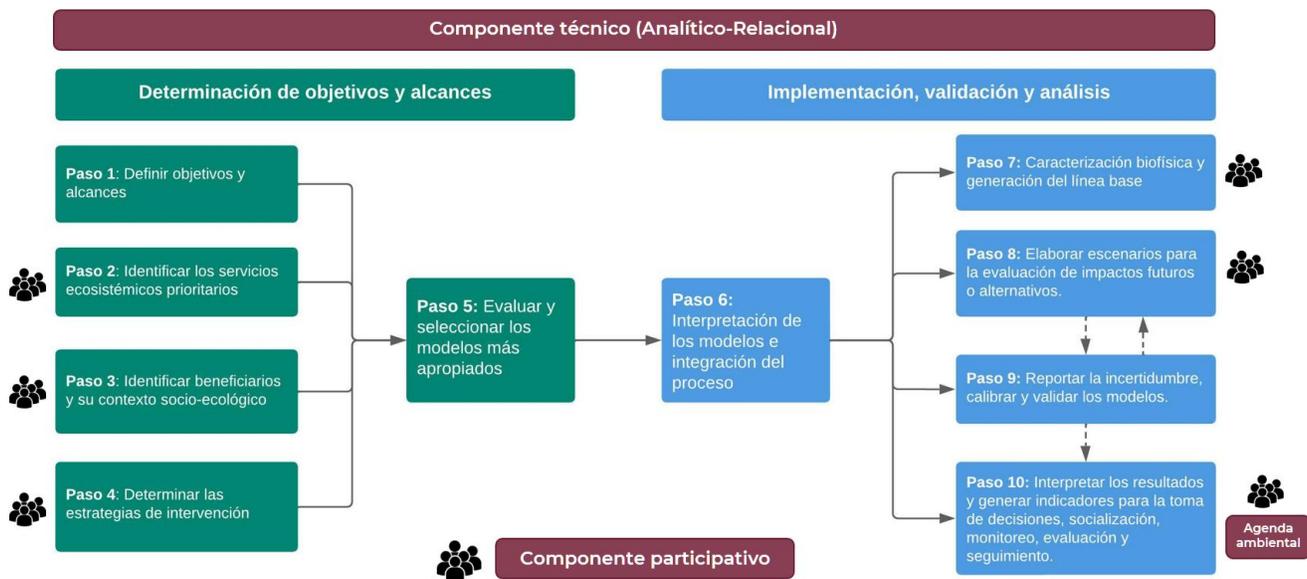


Fig. 6. Guía metodológica para la elaboración de los PAMIC. Esquema del proceso de integración de los diferentes pasos metodológicos, tanto del componente técnico como del componente participativo. Adaptado de Bullock & Ding (2018) y Ochoa-Tocachi et al. (2022).

Cuenca del Río Tuxpan

Este capítulo ofrece una visión general de las características biofísicas y socioeconómicas de la cuenca del Río Tuxpan, resaltando el papel de las personas usuarias de los servicios ecosistémicos como los y las principales agentes de transformación de los sistemas socio-ecológicos.



Cuenca del Río Tuxpan

3.1. Caracterización biofísica

3.1.1. Localización

La cuenca del **Río Tuxpan (RT)** forma parte de la región hidrológica Norte de Veracruz (XXVII) y ocupa una superficie de 6,755 km², localizada entre los estados de Veracruz (75.6%), Puebla (13.2%) e Hidalgo (11.2%) (Tabla 1).

La cuenca se encuentra dentro de dos provincias fisiográficas: la Llanura Costera del Golfo Norte en dirección noreste y la Sierra Madre oriental al suroeste. Su gradiente altitudinal oscila de 0 a 2,788 msnm, con una elevación promedio de 435 msnm. El cauce principal de la cuenca emerge desde las zonas altas de la sierra hasta su desembocadura en la vertiente del Golfo de México (203 km).

Tabla 1. Descripción de la cuenca del Río Tuxpan.

| Límites estatales | | |
|-------------------|-------------------------------|----------------|
| Estado | Superficie (km ²) | Porcentaje (%) |
| Veracruz | 5,108.53 | 75.63% |
| Puebla | 891.15 | 13.19% |
| Hidalgo | 754.77 | 11.17% |

| Coordenadas extremas y colindancias | | | |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|--|
| Dirección | Longitud | Latitud | Cuencas colindantes |
| Norte | -97° 26' 32.35" | 21° 15' 58.84" | Estero Cucharas, San Miguel, Tancochín |
| Sur | -98° 15' 00.17" | 20° 18' 26.93" | Cazones, Tecoxtempa |
| Este | -97° 17' 39.85" | 20° 56' 31.96" | Golfo de México |
| Oeste | -98° 31' 13.88" | 20° 29' 01.32" | Pánuco |

3.1.2. Uso de suelo y vegetación

La vegetación natural cubre alrededor del 26.72% de la cuenca y se clasifica en bosque de pino, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña, selva alta perennifolia/subperennifolia, selva baja caducifolia y manglares (INEGI, 2018). El 21.24% de la superficie de la cuenca está destinada a la producción agrícola. Los tipos de cultivo predominantes son: maíz, limón, naranja, café y caña, aunque también están presentes los cultivos de frijol, alfalfa y otras variedades frutales en zonas de la parte alta de la cuenca. El resto de la superficie corresponde a pastizales vinculados con las

actividades pecuarias (47.75%); suelo desnudo (0.05%); asentamientos humanos (2.96%); y cuerpos de agua (1.28%) (Tabla 2, Fig. 7).

Tabla 2. Tipos de coberturas presentes en las cuencas del Río Tuxpan.

| Tipos de coberturas | Área (km ²) | Porcentaje de la cuenca (%) |
|---|-------------------------|-----------------------------|
| Bosque de pino | 274.48 | 4.06 |
| Selva alta perennifolia/subperennifolia | 975.95 | 14.45 |
| Selva baja caducifolia | 2.82 | 0.04 |
| Bosque de encino | 20.52 | 0.30 |
| Bosque mesófilo de montaña | 458.81 | 6.79 |
| Pastizal | 3,224.15 | 47.75 |
| Humedal | 72.10 | 1.07 |
| Cítricos-maíz | 1,099.57 | 16.28 |
| Maíz | 177.23 | 2.62 |
| Café-caña | 157.81 | 2.34 |
| Suelo desnudo | 3.24 | 0.05 |
| Zona urbana | 199.69 | 2.96 |
| Cuerpo de agua | 86.28 | 1.28 |

3.1.3. Subcuencas

Considerando la heterogeneidad de las características biofísicas de la cuenca (diferencias hidrológicas, altitudinales y tipos de coberturas), se delimitaron **54 subcuencas** con base en el Mapa Nacional de Microcuencas (FIRCO-UAQ, 2005). Posteriormente se corrigieron los límites considerando el análisis de la red de flujo rápido superficial del módulo de rendimiento hídrico estacional de InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*, por sus siglas en inglés) (Sharp et al., 2018) (**Tabla 3.** Delimitación de subcuencas. **Tabla 3, Fig. 7.** Cuenca del Río Tuxpan, Veracruz. *A) Localización e imagen satelital (Google Earth, 2024). B) Mapa de uso de suelo y vegetación. C) Modelo Digital de Elevación (INEGI, 2013a). D) Delimitación de las subcuencas (FIRCO-UAQ, 2005).* Fig. 7).

Tabla 3. Delimitación de subcuencas.

| ID | Subcuenca | Código (FIRCO-UAQ, 2005) | Superficie (km ²) |
|----|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1 | Estero de Milpas | 27-118-05-002 | 165.47 |
| 2 | Venustiano Carranza | 27-118-05-003 | 112.90 |
| 3 | Majahual | 27-118-05-004 | 58.57 |
| 4 | Banderas | 27-118-05-005 | 186.60 |
| 5 | La Victoria (La Peñita) | 27-116-01-006 | 137.68 |
| 6 | Cerro Azul | 27-118-06-001 | 226.59 |
| 7 | Temapache | 27-118-06-002 | 151.40 |
| 8 | Vara Alta | 27-116-01-004 | 63.42 |
| 9 | Túxpam de Rodríguez Cano | 27-116-01-005 | 346.20 |
| 10 | Tepetzintla | 27-116-01-001 | 180.72 |
| 11 | Potrero del Llano | 27-116-01-002 | 155.65 |
| 12 | Álamo | 27-116-02-006 | 104.66 |
| 13 | Estero del Ídolo | 27-116-01-007 | 227.93 |
| 14 | Castillo de Teayo | 27-116-01-008 | 272.49 |
| 15 | Francisco Villa | 27-116-01-009 | 90.27 |
| 16 | Zapotitlán | 27-116-01-003 | 50.53 |
| 17 | La Guásima | 27-116-02-001 | 177.26 |
| 18 | Vegas de la Soledad y Soledad Dos | 27-116-02-005 | 129.78 |
| 19 | La Camelia (Palo Blanco) | 27-116-02-008 | 118.44 |
| 20 | La Guadalupe | 27-116-02-014 | 54.39 |
| 21 | Tlacolula | 27-116-02-002 | 84.84 |
| 22 | Tecerca Vieja | 27-116-02-004 | 125.29 |
| 23 | El Mirador | 27-116-02-003 | 159.28 |
| 24 | Ixcacuatitla | 27-116-02-007 | 128.73 |
| 25 | Tzocohuite | 27-116-02-009 | 135.33 |
| 26 | Metlaltoyuca | 27-116-02-012 | 114.98 |
| 27 | Jaltocan | 27-116-02-019 | 114.72 |
| 28 | Ameluca | 27-116-02-024 | 101.94 |
| 29 | Xochimilco | 27-116-02-010 | 112.26 |
| 30 | Ixhuatlán de Madero | 27-116-02-015 | 59.12 |
| 31 | San Lorenzo Achiotepic | 27-116-02-017 | 173.46 |
| 32 | San Francisco | 27-116-02-025 | 124.08 |
| 33 | Mecapalapa | 27-116-02-028 | 120.47 |
| 34 | Colatlán | 27-116-02-011 | 75.35 |
| 35 | Tenantitla | 27-116-02-013 | 61.33 |
| 36 | Huitzitzilco | 27-116-02-018 | 44.67 |
| 37 | San Gregorio | 27-116-02-030 | 57.56 |
| 38 | Chintipan | 27-116-02-016 | 145.85 |
| 39 | Otatitlán | 27-116-02-021 | 97.78 |
| 40 | San José Naranjal | 27-116-02-026 | 110.72 |

| ID | Subcuenca | Código (FIRCO-UAQ, 2005) | Superficie (km ²) |
|----|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 41 | San Esteban | 27-116-02-027 | 90.99 |
| 42 | Huehuetla | 27-116-02-032 | 79.60 |
| 43 | San Antonio El Grande | 27-116-02-034 | 44.31 |
| 44 | Papaloctipan | 27-116-02-033 | 163.95 |
| 45 | Huayacocotla | 27-116-02-020 | 303.58 |
| 46 | Texcatepec | 27-116-02-023 | 147.62 |
| 47 | Tlachichilco | 27-116-02-022 | 228.86 |
| 48 | San Juan de las Flores | 27-116-02-029 | 95.17 |
| 49 | Xuchitlán | 27-116-02-031 | 82.58 |
| 50 | San Bartolo Tutotepec | 27-116-02-035 | 59.07 |
| 51 | San Pablo El Grande | 27-116-02-037 | 74.58 |
| 52 | Zacualpan | 27-116-02-036 | 123.70 |
| 53 | Buena Vista | 27-116-02-038 | 49.19 |
| 54 | Tenango de Doria | 27-116-02-039 | 53.83 |

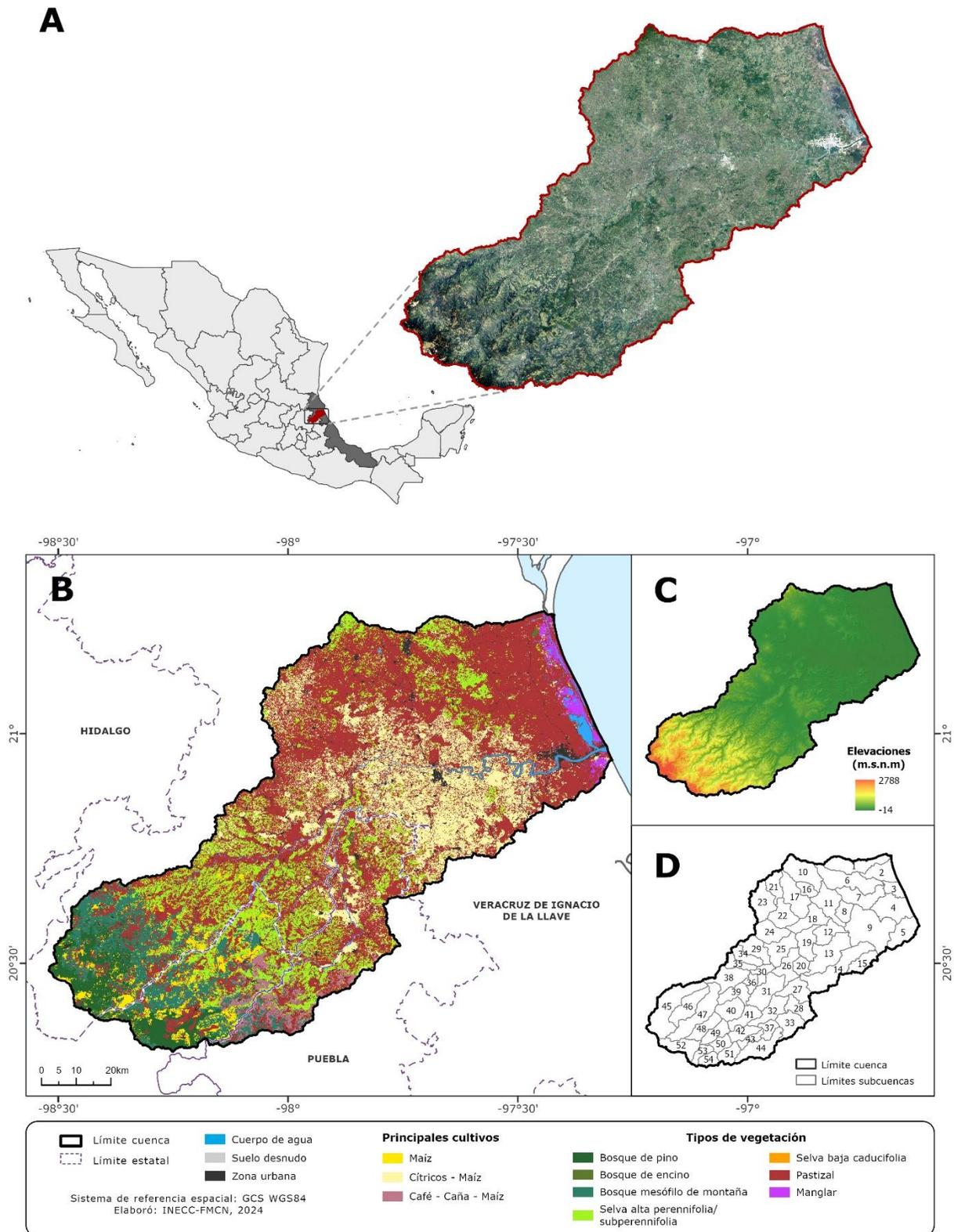


Fig. 7. Cuenca del Río Tuxpan, Veracruz. A) Localización e imagen satelital (Google Earth, 2024). B) Mapa de uso de suelo y vegetación. C) Modelo Digital de Elevación (INEGI, 2013a). D) Delimitación de las subcuencas (FIRCO-UAQ, 2005).

3.1.4. Tipos de suelo

El tipo de suelo que predomina en la cuenca del RT es el vertisol, que cubre el 23.9% de la superficie. Este suelo mineral se caracteriza por su alto contenido de arcillas expandibles, que generan grietas debido a su expansión y contracción en respuesta a los periodos de lluvias y sequía. Su origen está asociado a la formación de minerales secundarios a partir de materiales transportados desde la Sierra Madre Oriental, y depositados en lechos lacustres o riberas de ríos. Si bien presentan una alta fertilidad, su dureza durante el estiaje dificulta su manejo.

El regosol, que ocupa 18.57% de la cuenca, es un suelo poco desarrollado, generalmente somero y con bajo contenido de materia orgánica. Su presencia está vinculada a terrenos de pendiente pronunciada o a depósitos sedimentarios recientes, donde los procesos pedogenéticos o de formación del suelo han sido limitados.

El umbrisol, que representa el 17.68% de la superficie de la cuenca, es un suelo comúnmente joven y con un desarrollo limitado, caracterizado por una capa superficial oscura con un alto contenido de materia orgánica. Su distribución está vinculada a depósitos geológicos recientes en regiones montañosas con abundante precipitación.

El calcisol, que cubre el 12.24% de la superficie, se distingue por una acumulación de material calcáreo en el perfil de suelo, que está frecuentemente asociado al arrastre de sales y altos índices de evaporación. Su distribución está asociada a depósitos aluviales con un lento desarrollo pedogenético. debido a periodos recurrentes de sequía.

Otros suelos presentes en menor proporción incluyen los phaeozems (8.37%), caracterizados por su color oscuro, estructura porosa y alto contenido de materia orgánica, desarrollados sobre terrenos generalmente planos; los cambisoles (8.36%), suelos jóvenes y con una limitada evolución pedogenética, así como una distribución asociada a depósitos de materiales geológicos recientes; y los luvisoles (5.77%), vinculados a depósitos aluviales sobre materiales no consolidados, y susceptibles a la erosión (INEGI, 2013b) (Fig. 8).

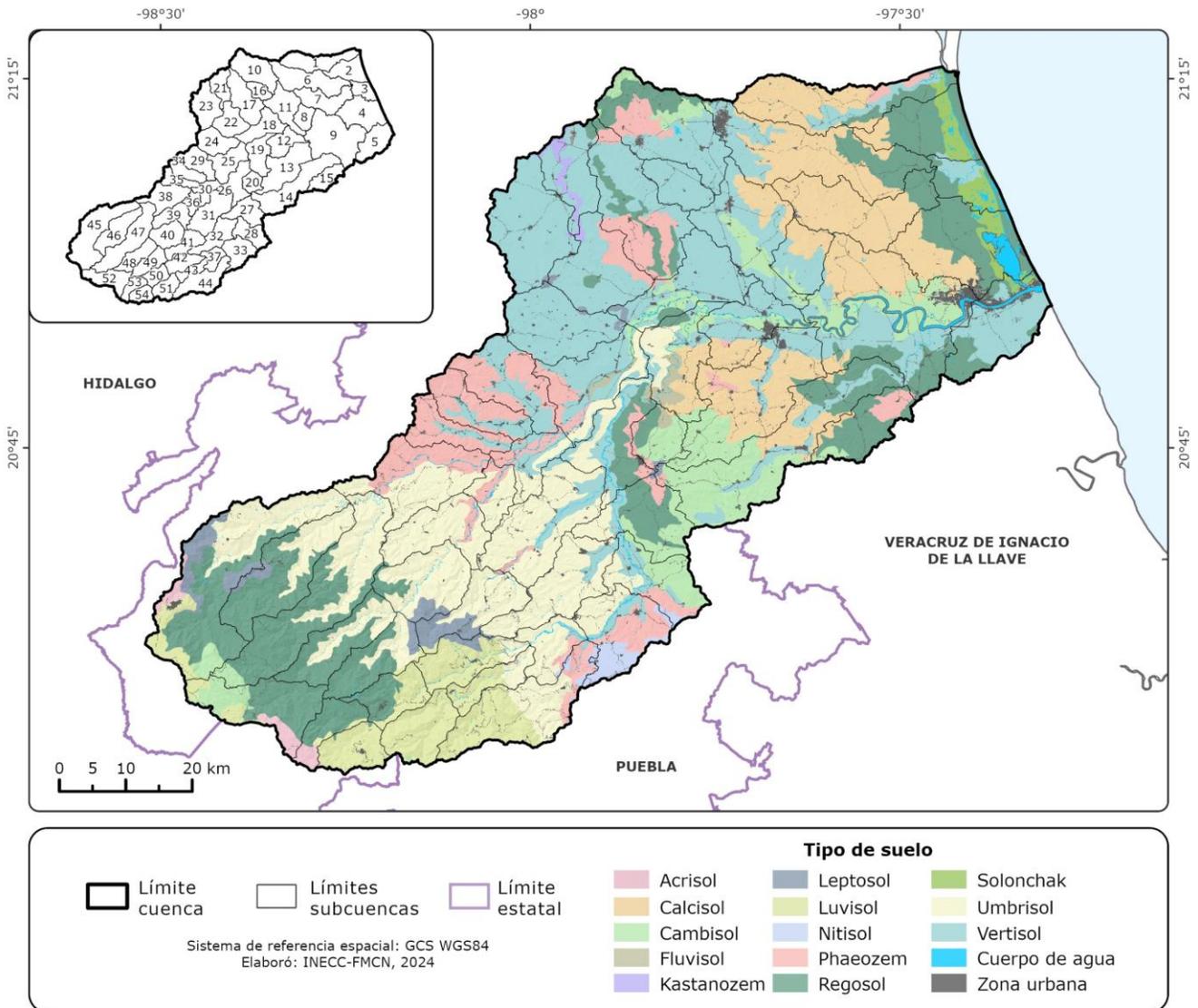


Fig. 8. Tipos de suelo en la cuenca del Río Tuxpan.

3.1.5. Clima

El clima es el término que describe en forma estadística las condiciones meteorológicas calculadas sobre un periodo de tiempo, comúnmente de 30 años (WMO, 2022). Específicamente, se define como la sucesión periódica y cíclica de estados de tiempo atmosférico que se producen en una determinada región. Este sistema climático está en constante cambio debido a las interacciones entre la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la superficie de la tierra y la biósfera. El sistema climático evoluciona con el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna, por forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las variaciones solares y por los forzamientos inducidos por el ser humano, a través de cambios en la composición de la atmósfera y cambios en el uso de la tierra (IPCC, 2001).

Por otra parte, 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).

El alcance de los efectos del cambio climático en las distintas regiones del planeta variará con el tiempo, así como la capacidad de adaptarse de los diferentes sistemas sociales y ambientales (IPCC, 2007), por lo que es necesario desarrollar medidas y acciones de adaptación, para disminuir la vulnerabilidad al cambio climático de los diferentes sistemas. Ante esta situación, se requiere que los tomadores de decisiones aumenten sus capacidades de conocimiento y comprensión de la información climática, para que la integren como una herramienta de apoyo fundamental en las decisiones (INECC, 2022).

En este contexto, el PAMIC de la cuenca RT incorpora la siguiente descripción general del clima (línea base), para posteriormente, comparar estadísticamente los resultados con **escenarios de cambio climático**. El clima de línea base se analizó considerando la información de 44 estaciones, de las cuales, solo nueve se encuentran en operación y con registros climatológicos de, por lo menos, 30 años (SMN, 2022) (Tabla 4, Fig. 10). De estas estaciones, 21 se ubican dentro de la cuenca, mientras que las restantes se encuentran en un radio de influencia de 10 km, a excepción de la estación 30041, siendo la más distante localizada a 13 km del parteaguas. Esta selección respondió al propósito de contextualizar el clima de la cuenca considerando también su entorno regional.

Tabla 4. Estaciones climatológicas dentro de la cuenca del Río Tuxpan.

| ID | Clave | Estado | Estación meteorológica | Latitud | Longitud | Altitud (msnm) | Periodo de registros |
|----|-------|------------|------------------------|----------|-----------|----------------|----------------------|
| 1 | 13034 | Operando | Tenango de Doria | 20.3425 | -98.21722 | 1,691 | 1941-2020 |
| 2 | 13067 | Suspendida | Los Álamos | 20.44028 | -98.57417 | 1,300 | 1973-1986 |
| 3 | 13095 | Operando | Agua Blanca | 20.33722 | -98.36194 | 2,157 | 1974-2021 |
| 4 | 13099 | Operando | Metepéc | 20.23667 | -98.32417 | 2,147 | 1974-2022 |
| 5 | 13144 | Operando | Huehuetla | 20.462 | -98.07472 | 424 | 1982-2023 |
| 6 | 21042 | Suspendida | Honey (CFE) | 20.25 | -98.2 | 1,905 | 1961-1968 |
| 7 | 21097 | Suspendida | Tlaxco (CFE) | 20.42528 | -98.02917 | 1,508 | 1968-2002 |
| 8 | 21127 | Operando | Xicotepec de Juárez | 20.27694 | -97.96028 | 1,168 | 1942-2024 |
| 9 | 21142 | Operando | Venustiano Carranza | 20.51028 | -97.66806 | 144 | 1974-2024 |
| 10 | 21147 | Operando | Apapantilla | 20.404 | -97.84472 | 278 | 1977-2024 |

| ID | Clave | Estado | Estación meteorológica | Latitud | Longitud | Altitud (msnm) | Periodo de registros |
|----|-------|------------|--------------------------------|----------|-----------|----------------|----------------------|
| 11 | 21185 | Operando | Piedras Negras | 20.44167 | -97.76139 | 425 | 1979-2023 |
| 12 | 21211 | Operando | Ameluca | 20.58028 | -97.84694 | 160 | 1982-2023 |
| 13 | 21212 | Operando | Metlaltoyuca | 20.74833 | -97.865 | 131 | 1982-2024 |
| 14 | 21219 | Operando | El Tepetate | 20.4275 | -97.78667 | 180 | 2007-2024 |
| 15 | 21222 | Operando | Tlaxco | 20.37417 | -98.04056 | 1,065 | 2009-2022 |
| 16 | 21236 | Operando | Ávila Camacho | 20.38583 | -97.881 | 240 | 2013-2024 |
| 17 | 30006 | Operando | Álamo | 20.92944 | -97.67944 | 19 | 1965-2024 |
| 18 | 30016 | Operando | Benito Juárez | 20.88667 | -98.201 | 2,202 | 1962-2021 |
| 19 | 30038 | Suspendida | Tuxpan (CFE) | 20.90694 | -97.43861 | 2 | 1986-2012 |
| 20 | 30041 | Operando | Chicontepec de Tejeda (SMN) | 20.993 | -98.16389 | 291 | 1947-2023 |
| 21 | 30067 | Operando | Huayacocotla | 20.53361 | -98.47778 | 2,168 | 1961-2023 |
| 22 | 30071 | Operando | Benito Juárez | 21.23944 | -98.00333 | 173 | 1961-2023 |
| 23 | 30168 | Suspendida | Tantima | 21.33028 | -97.83306 | 205 | 1944-1988 |
| 24 | 30180 | Operando | Terrerillos | 21.04083 | -98.15306 | 138 | 1961-2023 |
| 25 | 30190 | Suspendida | Tuxpam de Rodríguez Cano (OBS) | 20.95972 | -97.41889 | 5 | 1923-2011 |
| 26 | 30229 | Suspendida | Tuxpam De Rodríguez Cano (SMN) | 20.94722 | -97.44 | 17 | 1961-1989 |
| 27 | 30261 | Suspendida | E.T.A. 175 Tlacolula | 20.91667 | -98.16667 | 640 | 1973-1990 |
| 28 | 30307 | Suspendida | Castillo de Teayo | 20.74861 | -97.63 | 77 | 1977-1988 |
| 29 | 30315 | Suspendida | Las Flores | 21.27583 | -97.56 | 50 | 1978-1982 |
| 30 | 30322 | Suspendida | Mihuapan | 20.61806 | -97.61417 | 81 | 1978-1999 |
| 31 | 30331 | Suspendida | Tamiahua (CFE) | 21.31528 | -97.44417 | 5 | 1978-2000 |
| 32 | 30350 | Operando | Citlaltépetl | 21.32917 | -97.8775 | 220 | 1980-2023 |
| 33 | 30356 | Suspendida | La Palma | 20.97667 | -97.835 | 80 | 1982-1984 |
| 34 | 30357 | Operando | Las Flores | 21.27583 | -97.56 | 50 | 1982-2023 |
| 35 | 30359 | Suspendida | Palo Bendito | 20.50917 | -98.50389 | 2,266 | 1982-2017 |
| 36 | 30360 | Suspendida | Potrero del Llano | 21.08417 | -97.73167 | 80 | 1982-1991 |
| 37 | 30361 | Operando | Sombrerete | 20.88722 | -97.80972 | 48 | 1982-2024 |
| 38 | 30362 | Suspendida | Tihuatlán | 20.71 | -97.5361 | 92 | 1982-1995 |
| 39 | 30365 | Suspendida | Zacualpan | 20.43056 | -98.35278 | 1,625 | 1982-1994 |
| 40 | 30375 | Operando | Chalahuite | 21.06833 | -97.545 | 50 | 1995-2023 |
| 41 | 30377 | Operando | Majahual | 21.11639 | -97.413 | 3 | 1982-2020 |
| 42 | 30381 | Suspendida | Zilacatipan | 20.65583 | -98.34806 | 971 | 1983-1990 |
| 43 | 30382 | Operando | Zontecomatlán | 20.76167 | -98.34361 | 1,612 | 1983-2019 |
| 44 | 30465 | Operando | Presa El Moralillo | 21.184 | -97.814 | 185 | 2001-2023 |

La temperatura media anual de la cuenca RT oscila entre los 11.5 °C y 25.1 °C, con un valor promedio de 22.5 °C. En los meses de mayo y junio se presentan las temperaturas más altas, mientras que, las temperaturas más bajas predominan en diciembre y enero. La precipitación anual acumulada oscila

entre 2,737 y 823 mm, con una media anual de 1,461 mm. El periodo con mayor precipitación es de julio a octubre, mientras que los meses más secos van de enero a abril. En la cuenca también se presenta el fenómeno de la canícula durante el mes de agosto, caracterizado por un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación. Los valores más altos de precipitación media anual (<2,200 mm/año) se registran en la zona de la Sierra de Otontepec al norte de la cuenca y sobre los valles y laderas de la Sierra Madre Oriental, principalmente en las cuencas de Papaloctipan, San Antonio El Grande, Huehuetla, San Esteban y San Gregorio, disminuyendo hacia el oeste en altitudes más altas y hacia el noroeste sobre la llanura costera. La evapotranspiración potencial media anual es de 1,454 mm, con un valor máximo en el mes de mayo (216 mm) y un valor mínimo durante el mes de septiembre (38 mm) (UNIATMOS-UNAM, 2020) (Fig.9).

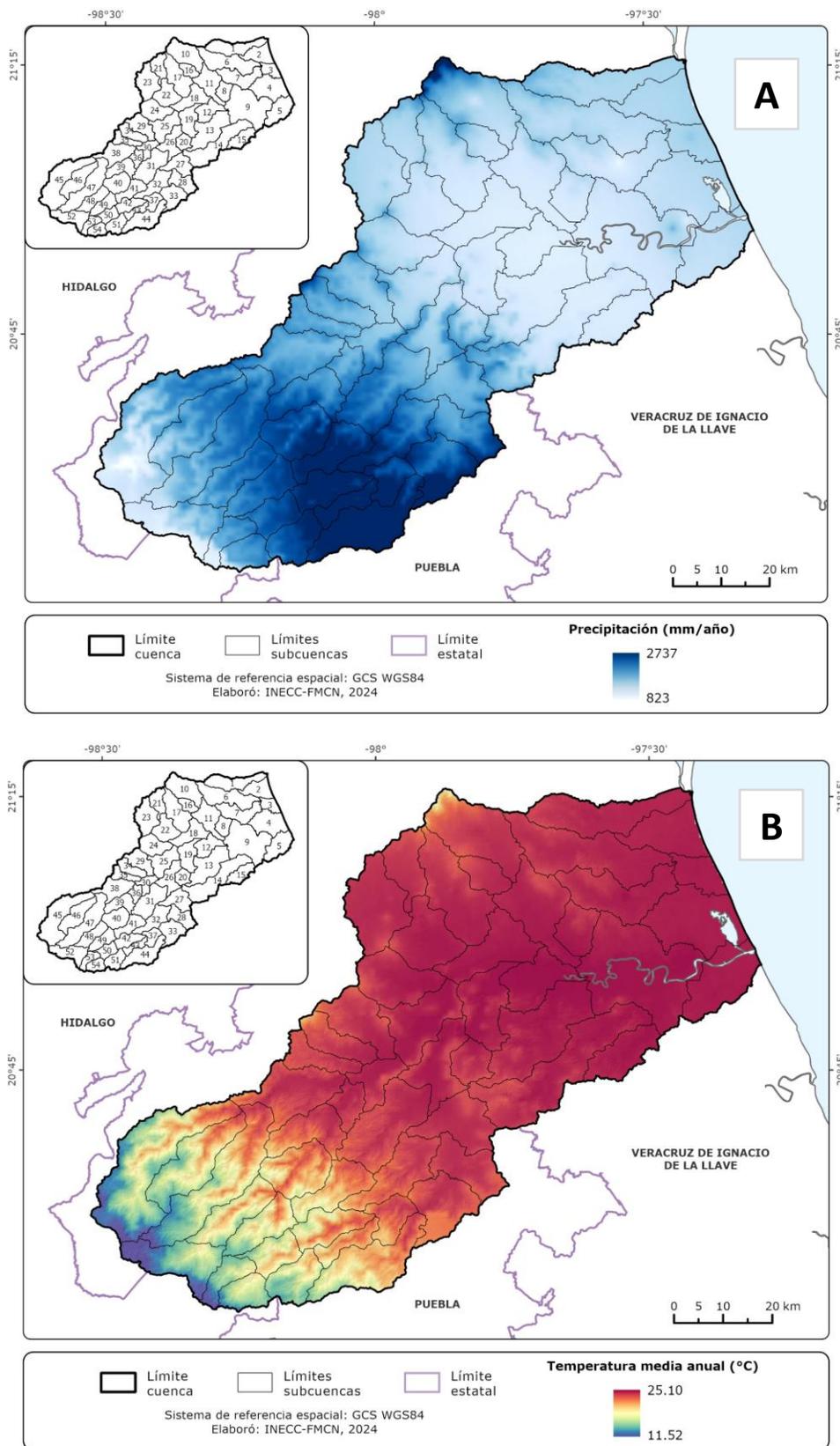


Fig. 9. Mapas de línea base. A) Precipitación y B) Temperatura media anual en la cuenca del Río Tuxpan, UNIATMOS-UNAM, (2020).

En la cuenca del RT se identifican 11 variaciones climáticas, las cuales se pueden clasificar en seis tipos de clima: cálido húmedo (23.83%), cálido subhúmedo (47.23%), semicálido húmedo (18.11%), templado húmedo (10.21%), templado subhúmedo (0.14%) y frío (0.15%), con base en la clasificación climática de Köppen modificada por García (1964) (Tabla 5, Fig. 10).

El clima cálido subhúmedo, que cubre el 47.23% de la superficie total, es el más extendido y se encuentra principalmente sobre la llanura costera de la cuenca. Le sigue el clima cálido húmedo, que cubre el 23.83% del área y se distribuye en zonas de media altitud. Los climas semicálido húmedo (18.11%) y templado húmedo (10.21%) predominan en las laderas y valles de la Sierra Madre Oriental. Las menores extensiones corresponden a los climas templado subhúmedo (0.14%) y frío (0.15%), ubicados en las zonas más altas de la cuenca. El clima templado subhúmedo se identifica sobre el municipio de Huayacocotla, mientras que el clima frío se encuentra en los municipios de Tenango de Doria y San Bartolo Tutotepec.

Tabla 5. Variables climáticas y tipos de clima en la cuenca del Río Tuxpan.

| Tipo climático | Clave | Área (km ²) | Porcentaje (%) |
|--------------------|------------|-------------------------|----------------|
| Cálido húmedo | Am(f) | 897.17 | 13.28 |
| | Af(m) | 356.43 | 5.28 |
| | Am | 356.06 | 5.27 |
| Cálido subhúmedo | Aw2 | 3,190.91 | 47.23 |
| Semicálido húmedo | (A)C(m)(w) | 10.74 | 0.16 |
| | (A)C(fm) | 1,205.21 | 17.84 |
| | (A)C(m) | 7.78 | 0.12 |
| Templado húmedo | C(fm) | 416.65 | 6.17 |
| | C(m) | 273.08 | 4.04 |
| Templado subhúmedo | C(w2) | 9.61 | 0.14 |
| Frío | C(E)(m) | 10.15 | 0.15 |

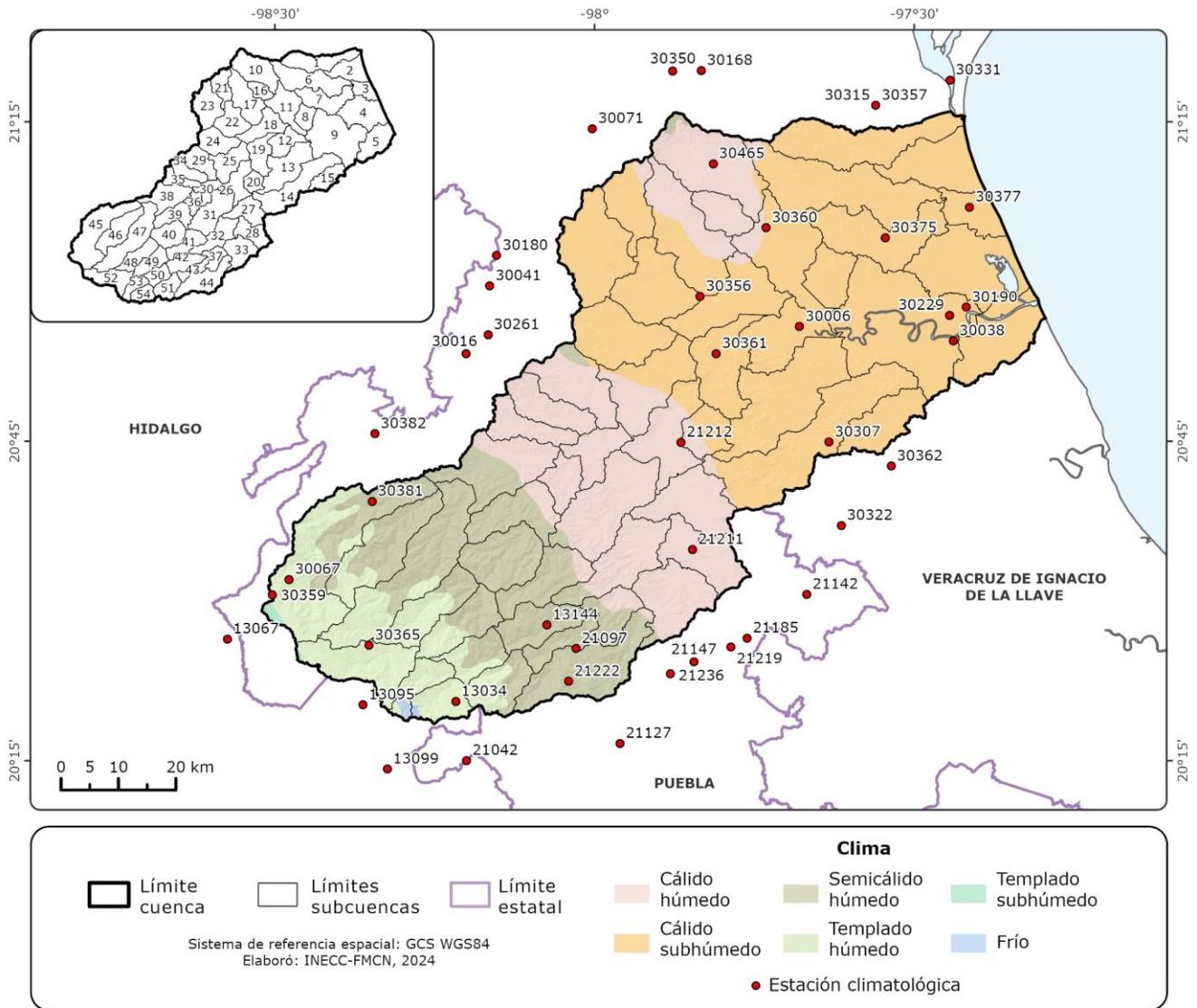


Fig. 10. Localización de las estaciones climatológicas y distribución de los tipos de climas presentes en la cuenca del Río Tuxpan (SMN, 2022).

3.2. Caracterización socio-económica

Los servicios ecosistémicos (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.

Considerando lo anterior, en esta sección se presenta una caracterización general de la población asentada en la cuenca del Río Tuxpan. Además, se describen los resultados de un Índice de Caracterización Socioeconómica (ICSE) y de brecha de género que integra diversas variables demográficas, sociales y económicas a partir de análisis estadísticos. La información se describe a nivel de subcuenca o municipio, de acuerdo con el grado de agregación de los datos disponibles.

3.2.1. Población

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2020), la población total de la cuenca del Río Tuxpan, es de aproximadamente 553,505 personas distribuidas en un total de 1,497 localidades, en las cuales, el 39.7% de la población se concentra en 26 localidades urbanas. El resto de las personas (60.3%) reside en 1,471 localidades rurales. Los principales centros urbanos son Túxpam de Rodríguez Cano (89,557 habitantes), Álamo (26,236 habitantes) y Cerro Azul (21,318 habitantes) (Fig. 11).

La densidad poblacional promedio es de 81.97 habitantes/km². Las dos subcuencas con mayor densidad poblacional son: Álamo (300.52 habitantes/km²) y Túxpam de Rodríguez Cano (250.55 habitantes/km²). Respecto a la distribución de la población por sexo y etnicidad, el 51.03% son mujeres, el 2.42% pertenece a la población afroamericana o afrodescendiente y el 19.23% es población que habla alguna lengua indígena (Tabla 6).

Tabla 6. Población total, sexo y etnicidad de la población por subcuenca (INEGI, 2020).

| ID | Cuenca | Subcuenca | Población total | Población femenina (%) | Población masculina (%) | Población afro ¹ (%) | Población que habla lengua indígena ² (%) |
|----|--------|-----------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | Tuxpan | Estero de Milpas | 6,974 | 49.28 | 49.81 | 19.85 | 1.09 |
| 2 | Tuxpan | Venustiano Carranza | 1,363 | 47.76 | 51.72 | 1.98 | 1.60 |
| 3 | Tuxpan | Majahual | 153 | 42.48 | 39.87 | 0.00 | 3.31 |
| 4 | Tuxpan | Banderas | 38,026 | 51.43 | 46.58 | 1.80 | 0.55 |
| 5 | Tuxpan | La Victoria (La Peñita) | 27,267 | 50.93 | 47.29 | 1.94 | 0.47 |
| 6 | Tuxpan | Cerro Azul | 26,111 | 52.24 | 46.18 | 2.30 | 0.73 |
| 7 | Tuxpan | Temapache | 4,533 | 48.75 | 49.15 | 1.99 | 4.61 |
| 8 | Tuxpan | Vara Alta | 1,676 | 48.69 | 48.69 | 0.30 | 6.14 |
| 9 | Tuxpan | Tuxpam de Rodríguez Cano | 86,721 | 51.75 | 47.40 | 1.55 | 0.85 |
| 10 | Tuxpan | Tepetzintla | 11,732 | 50.69 | 46.90 | 0.95 | 3.85 |
| 11 | Tuxpan | Potrero del Llano | 10,144 | 50.43 | 47.34 | 0.36 | 3.10 |
| 12 | Tuxpan | Álamo | 31,441 | 51.43 | 47.84 | 1.17 | 2.22 |
| 13 | Tuxpan | Estero del Ídolo | 29,853 | 50.45 | 48.71 | 1.23 | 3.64 |
| 14 | Tuxpan | Castillo de Teayo | 21,036 | 49.62 | 48.55 | 0.36 | 7.64 |
| 15 | Tuxpan | Francisco Villa | 3,705 | 49.82 | 48.37 | 0.11 | 3.90 |
| 16 | Tuxpan | Zapotitlán | 1,634 | 50.86 | 48.78 | 0.12 | 3.67 |
| 17 | Tuxpan | La Guásima | 4,314 | 48.17 | 49.37 | 1.04 | 11.45 |
| 18 | Tuxpan | Vegas de la Soledad y Soledad dos | 8,142 | 49.84 | 49.75 | 0.28 | 10.24 |
| 19 | Tuxpan | La Camelia (Palo Blanco) | 7,818 | 50.09 | 49.48 | 17.05 | 11.09 |
| 20 | Tuxpan | La Guadalupe | 2,402 | 48.21 | 48.63 | 0.08 | 5.73 |
| 21 | Tuxpan | Tlacolula | 7,978 | 49.37 | 50.28 | 0.33 | 39.28 |
| 22 | Tuxpan | Tecerca Vieja | 2,743 | 52.21 | 46.52 | 0.51 | 75.83 |
| 23 | Tuxpan | El mirador | 4,498 | 50.27 | 49.71 | 1.11 | 82.70 |
| 24 | Tuxpan | Ixcacuatitla | 8,206 | 50.35 | 49.35 | 0.68 | 84.37 |
| 25 | Tuxpan | Tocohuite | 8,152 | 50.10 | 49.72 | 0.77 | 59.82 |
| 26 | Tuxpan | Metlaltoyuca | 4,887 | 50.85 | 47.37 | 2.44 | 6.38 |
| 27 | Tuxpan | Jaltocán | 2,203 | 50.30 | 49.25 | 0.50 | 5.81 |
| 28 | Tuxpan | Ameluca | 6,452 | 50.20 | 49.33 | 0.14 | 23.34 |
| 29 | Tuxpan | Xochimilco | 10,033 | 52.06 | 47.68 | 5.58 | 82.92 |
| 30 | Tuxpan | Ixhuatlán de Madero | 3,694 | 50.30 | 47.81 | 3.19 | 26.04 |
| 31 | Tuxpan | San Lorenzo Achiotepec | 11,921 | 50.88 | 48.65 | 6.38 | 60.02 |
| 32 | Tuxpan | San Francisco | 13,047 | 51.67 | 47.33 | 7.24 | 72.60 |
| 33 | Tuxpan | Mecapalapa | 13,828 | 52.26 | 47.19 | 0.81 | 19.52 |
| 34 | Tuxpan | Colatlán | 10,287 | 51.85 | 47.93 | 6.80 | 63.71 |
| 35 | Tuxpan | Tenantitla | 5,728 | 51.10 | 48.90 | 16.60 | 80.21 |
| 36 | Tuxpan | Huitzitzilco | 1,659 | 49.01 | 48.88 | 0.54 | 64.92 |
| 37 | Tuxpan | San Gregorio | 2,134 | 51.45 | 47.66 | 0.05 | 36.31 |
| 38 | Tuxpan | Chintipan | 6,237 | 50.97 | 48.29 | 1.09 | 76.41 |
| 39 | Tuxpan | Otatitlán | 5,136 | 49.88 | 49.59 | 4.09 | 48.78 |

| ID | Cuenca | Subcuenca | Población total | Población femenina (%) | Población masculina (%) | Población afro ¹ (%) | Población que habla lengua indígena ² (%) |
|---------------------------|--------|------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|--|
| 40 | Tuxpan | San José Naranjal | 1,699 | 50.62 | 49.09 | 1.06 | 18.93 |
| 41 | Tuxpan | San Esteban | 5,352 | 50.58 | 49.18 | 0.02 | 63.20 |
| 42 | Tuxpan | Huehuetla | 8,432 | 51.40 | 48.13 | 0.07 | 32.10 |
| 43 | Tuxpan | San Antonio el Grande | 5,545 | 52.05 | 47.66 | 13.09 | 30.56 |
| 44 | Tuxpan | Papalotipán | 12,250 | 50.64 | 49.19 | 0.90 | 12.83 |
| 45 | Tuxpan | Huayacocotla | 16,552 | 51.81 | 47.36 | 1.05 | 22.41 |
| 46 | Tuxpan | Texcatepec | 5,168 | 51.16 | 48.30 | 0.25 | 69.01 |
| 47 | Tuxpan | Tlachichilco | 8,157 | 51.64 | 48.07 | 0.28 | 29.05 |
| 48 | Tuxpan | San Juan de las Flores | 2,725 | 51.34 | 47.78 | 0.29 | 17.78 |
| 49 | Tuxpan | Xuchitlán | 2,688 | 50.41 | 49.48 | 0.07 | 60.88 |
| 50 | Tuxpan | San Bartolo Tutotepec | 11,263 | 50.63 | 48.95 | 1.08 | 18.57 |
| 51 | Tuxpan | San Pablo el Grande | 4,689 | 51.23 | 48.50 | 0.70 | 20.24 |
| 52 | Tuxpan | Zacualpan | 5,926 | 51.11 | 48.68 | 2.45 | 1.52 |
| 53 | Tuxpan | Buena Vista | 1,146 | 2.79 | 46.60 | 0.00 | 46.20 |
| 54 | Tuxpan | Tenango de Doria | 8,045 | 50.80 | 48.61 | 2.15 | 14.24 |
| Total de la cuenca | | | 553,505 | 51.03 | 47.97 | 2.42 | 19.23 |

¹ Población que se considera afromexicana o afrodescendiente.

² Población >3 años que habla alguna lengua indígena.

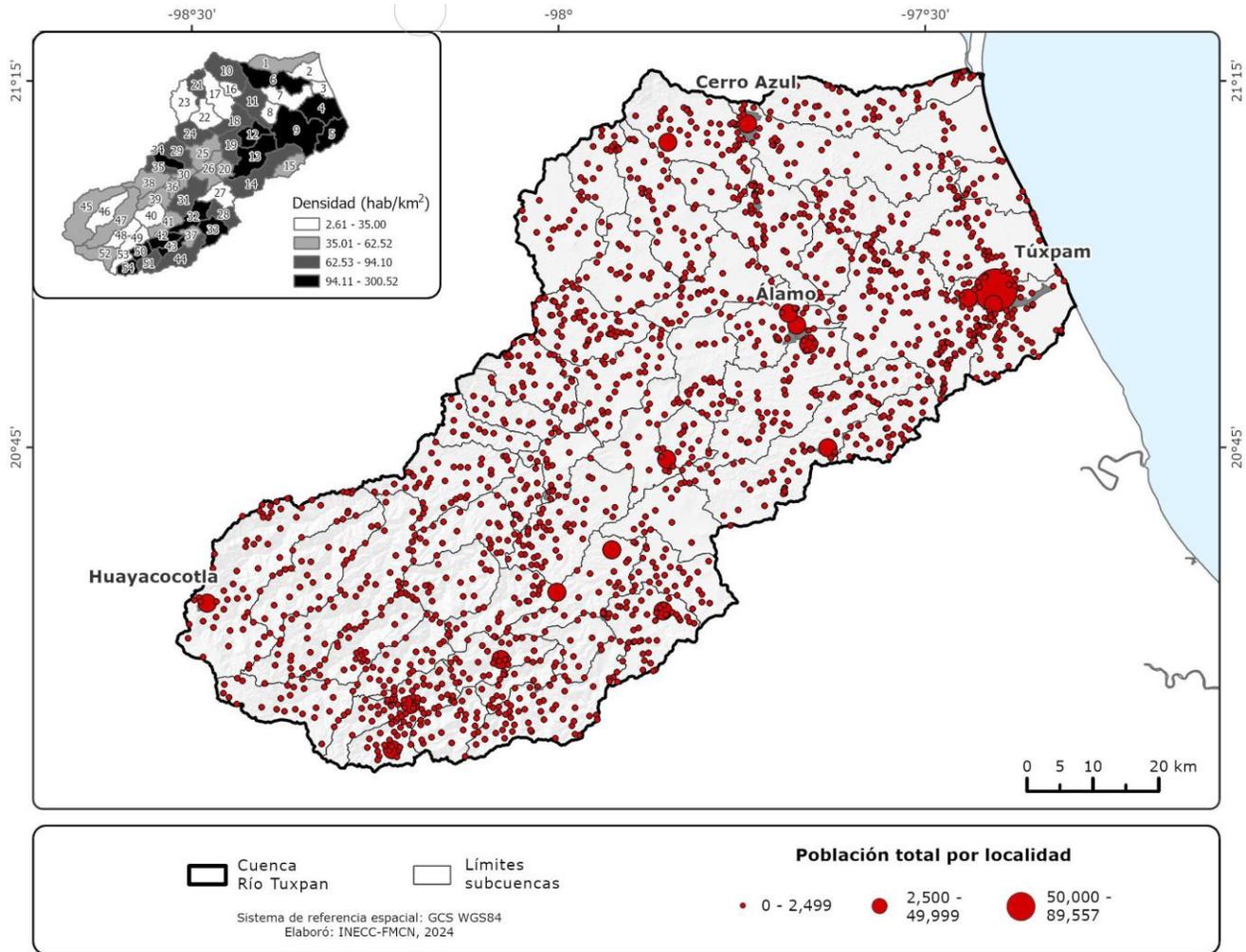


Fig. 11. Mapa de densidad poblacional y localidades ubicadas en la cuenca del Río Tuxpan (INEGI 2020).

3.2.2. Tenencia de la tierra

En la cuenca del RT se localizan 482 núcleos agrarios que incluyen 454 ejidos y 28 comunidades. La mayoría de los núcleos agrarios se encuentran en el municipio de Álamo Temapache, el cual incluye 105 ejidos y 2 comunidades. El municipio de Chicontepec tiene la mayor extensión territorial destinada a comunidades, con un área de 91.7 km², distribuida en cuatro comunidades: Postectitla, Tzimpiasco, Mesa de Calcote y Mesa de Tzapotzala. Las comunidades con mayor superficie en la cuenca son: Postectitla (47.16 km²), Santa María Apipilhuasco (42.36 km²) y Santa María Tecomajapa (35.86 km²), ubicadas en los municipios de Chicontepec, Ixhuatlán De Madero y Zontecomatlán de López y Fuentes respectivamente. Los núcleos agrarios abarcan en su conjunto aproximadamente el 47% de la superficie total de la cuenca del Río Tuxpan (3,199.21 km²) (RAN, 2023) (Fig.12, Tabla 7).

El IX Censo Ejidal (INEGI, 2007) registró un total de 45,318 personas ejidatarias en los núcleos agrarios ubicados dentro de la cuenca RT, de las cuales el 13% son mujeres. La desigualdad de

género en la tenencia de la tierra también se expresa en los órganos de representación ejidales. De acuerdo con las estadísticas con perspectiva de género reportadas en el Registro Agrario Nacional (RAN, 2023) para el estado de Veracruz, solo el 23% de las personas integrantes de los órganos de representación de los núcleos agrarios son mujeres, de las cuales solo el 1.4% ocupa la comisaría ejidal.

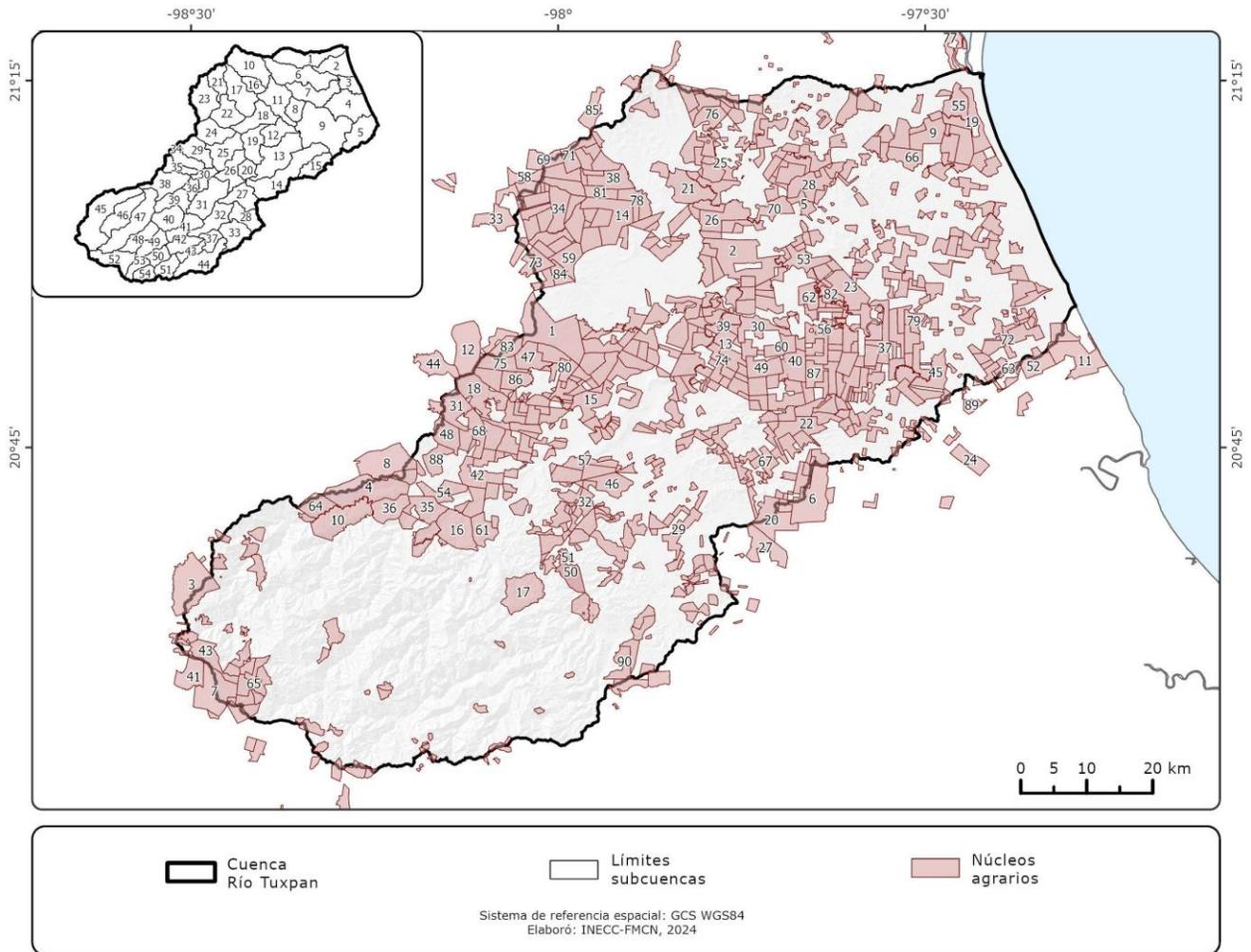


Fig. 12. Localización de ejidos y comunidades en la cuenca del Río Tuxpan (RAN, 2022).

Tabla 7. Listado de núcleos agrarios ubicados en la cuenca del Río Tuxpan cuya superficie dentro de la cuenca es mayor a 10 km².

| ID | Núcleo agrario | ID | Núcleo agrario |
|----|--|----|--|
| 1 | Postectitla | 47 | Tecalco |
| 2 | Tierra Blanca Booxter | 48 | Tenantitla |
| 3 | La Selva | 49 | Emiliano Zapata |
| 4 | Santa María Tecomajapa | 50 | Santa María Apipilhuasco |
| 5 | Buenavista Temapache y Anexos | 51 | Países Bajos |
| 6 | La Guadalupe | 52 | Vara Alta |
| 7 | Carbonero Jacales | 53 | La Jabonera y su Anexo Apetlaco |
| 8 | Xilotla y Anexos | 54 | Estero De Milpas |
| 9 | Santa María Apipilhuasco | 55 | El Jardín y sus Anexos |
| 10 | San Marcos | 56 | Ixhuatlán De Madero |
| 11 | Ayotuxtla | 57 | Mahuaquite y Anexos El Maguey Y Jaguey |
| 12 | N.C.P.A. Benito Juárez | 58 | Xococal |
| 13 | Tzimpiasco | 59 | Pueblo Nuevo De Álamo |
| 14 | Camelia Palo Blanco | 60 | Cerro Del Progreso |
| 15 | El Mirador | 61 | Álamo Tortuga |
| 16 | Tzocohuite y su Anexo Lomas Del Dorado | 62 | Loma Alta |
| 17 | Otatitlán | 63 | Cerro Gordo y su Anexo El Lindero |
| 18 | San Esteban y su Anexo La Junta Chica | 64 | Canalejas De Otates |
| 19 | Colatlán | 65 | Balcázar |
| 20 | Tanhuijio y sus Anexos | 66 | El Mante |
| 21 | La Defensa | 67 | Pilpuerta |
| 22 | El Ixtle y Anexos | 68 | Poza Azul |
| 23 | Castillo De Teayo | 69 | Potrero Del Llano N.º 1 |
| 24 | Villahermosa Antes Capadero | 70 | Ixcatepec |
| 25 | Tihuatlán y Anexo | 71 | La Victoria y Anexo |
| 26 | Juan Felipe y su Anexo Pozo 25 | 72 | Teocuayo |
| 27 | Horcones | 73 | Úrsulo Galván Antes El Limonar |
| 28 | Huitzila | 74 | Xochimilco y Anexos |
| 29 | El Brasil y Anexos | 75 | Piedra Labrada |
| 30 | La Pahua | 76 | La Guásima |
| 31 | Agua Nacida | 77 | Corral Falso |
| 32 | Palma Real | 78 | Santa Rosalía y Zacatal Hoy Progreso |
| 33 | Lindero Agua Fría y su Anexo Las Güiras | 79 | El Becerro y Anexos |
| 34 | La Barra Antes Las Puentes | 80 | Presidente Adolfo López Mateos |
| 35 | Chintipán | 81 | Buenavista Molino y Anexos |
| 36 | Tzicatlán | 82 | Cuatzapotitla |
| 37 | Doctor Montes De Oca | 83 | La Pagua |
| 38 | Francia | 84 | El Paraje De San Juan Ocontepec |
| 39 | Palo Blanco | 85 | El Limón |
| 40 | La Concepción | 86 | La Reforma |
| 41 | Palo Bendito | 87 | El Naranjal |
| 42 | San Bernardo y sus Anexos La Pagua y Xomulco | 88 | Zapotal Coyolillos Hoy Tierra Blanca |
| 43 | Viborillas Ojo De Agua | 89 | Jalpan |
| 44 | Hueycuatitla | 90 | Artículo 27 |
| 45 | Zapotal Santa Cruz | 91 | El Zapotal |
| 46 | San Martín y su Anexo El Nopal | 92 | Ticontlán |

3.2.3. Delimitación municipal y unidades económicas

La cuenca del RT está conformada por 26 municipios que se ubican de manera parcial o total dentro de los límites de la cuenca. El municipio Álamo Temapache ocupa el mayor porcentaje de la superficie de la cuenca (18.74%), seguido por Ixhuatlán de Madero (9.82%) y Tuxpan (9.74%) (Tabla 8, Fig. 13).

Tabla 8. Municipios ordenados con base en el porcentaje que ocupan dentro de los límites de la cuenca Río Tuxpan.

| No. | Estado | Clave | Municipio | Superficie de la cuenca (km ²) | Porcentaje municipal dentro de la cuenca (%) | Porcentaje de la cuenca (%) |
|-----|--------|-------|----------------------------------|--|--|-----------------------------|
| 1 | Ver. | 160 | Álamo Temapache | 1,265.74 | 100.00 | 18.74 |
| 2 | Ver. | 083 | Ixhuatlán de Madero | 663.48 | 100.00 | 9.82 |
| 3 | Ver. | 189 | Tuxpan | 658.21 | 68.87 | 9.74 |
| 4 | Ver. | 058 | Chicontepepec | 457.42 | 49.29 | 6.77 |
| 5 | Pue. | 064 | Francisco Z. Mena | 375.60 | 88.37 | 5.56 |
| 6 | Ver. | 151 | Tamiahua | 357.84 | 35.48 | 5.30 |
| 7 | Hgo. | 053 | San Bartolo Tutotepec | 355.99 | 99.85 | 5.27 |
| 8 | Ver. | 198 | Zacualpan | 261.58 | 99.99 | 3.87 |
| 9 | Ver. | 072 | Huayacocotla | 236.94 | 45.74 | 3.51 |
| 10 | Ver. | 180 | Tlachichilco | 223.87 | 100.00 | 3.31 |
| 11 | Ver. | 167 | Tepetzintla | 220.80 | 98.03 | 3.27 |
| 12 | Pue. | 111 | Pantepec | 218.26 | 99.89 | 3.23 |
| 13 | Hgo. | 027 | Huehuetla | 212.18 | 100.00 | 3.14 |
| 14 | Ver. | 157 | Castillo de Teayo | 206.31 | 76.32 | 3.05 |
| 15 | Ver. | 170 | Texcatepec | 189.14 | 97.68 | 2.80 |
| 16 | Hgo. | 060 | Tenango de Doria | 132.55 | 75.63 | 1.96 |
| 17 | Pue. | 086 | Jalpan | 108.36 | 53.05 | 1.60 |
| 18 | Ver. | 175 | Tihuatlán | 99.00 | 13.90 | 1.47 |
| 19 | Pue. | 178 | Tlacuilotepec | 98.57 | 57.32 | 1.46 |
| 20 | Ver. | 034 | Cerro Azul | 88.18 | 97.78 | 1.31 |
| 21 | Ver. | 027 | Benito Juárez | 66.29 | 28.75 | 0.98 |
| 22 | Pue. | 187 | Tlaxco | 54.35 | 100.00 | 0.80 |
| 23 | Hgo. | 004 | Agua Blanca de Iturbide | 47.87 | 40.20 | 0.71 |
| 24 | Ver. | 202 | Zontecomatlán de López y Fuentes | 35.61 | 14.84 | 0.53 |
| 25 | Ver. | 153 | Tancoco | 25.32 | 16.37 | 0.37 |
| 26 | Pue. | 109 | Pahuatlán | 12.92 | 13.23 | 0.19 |

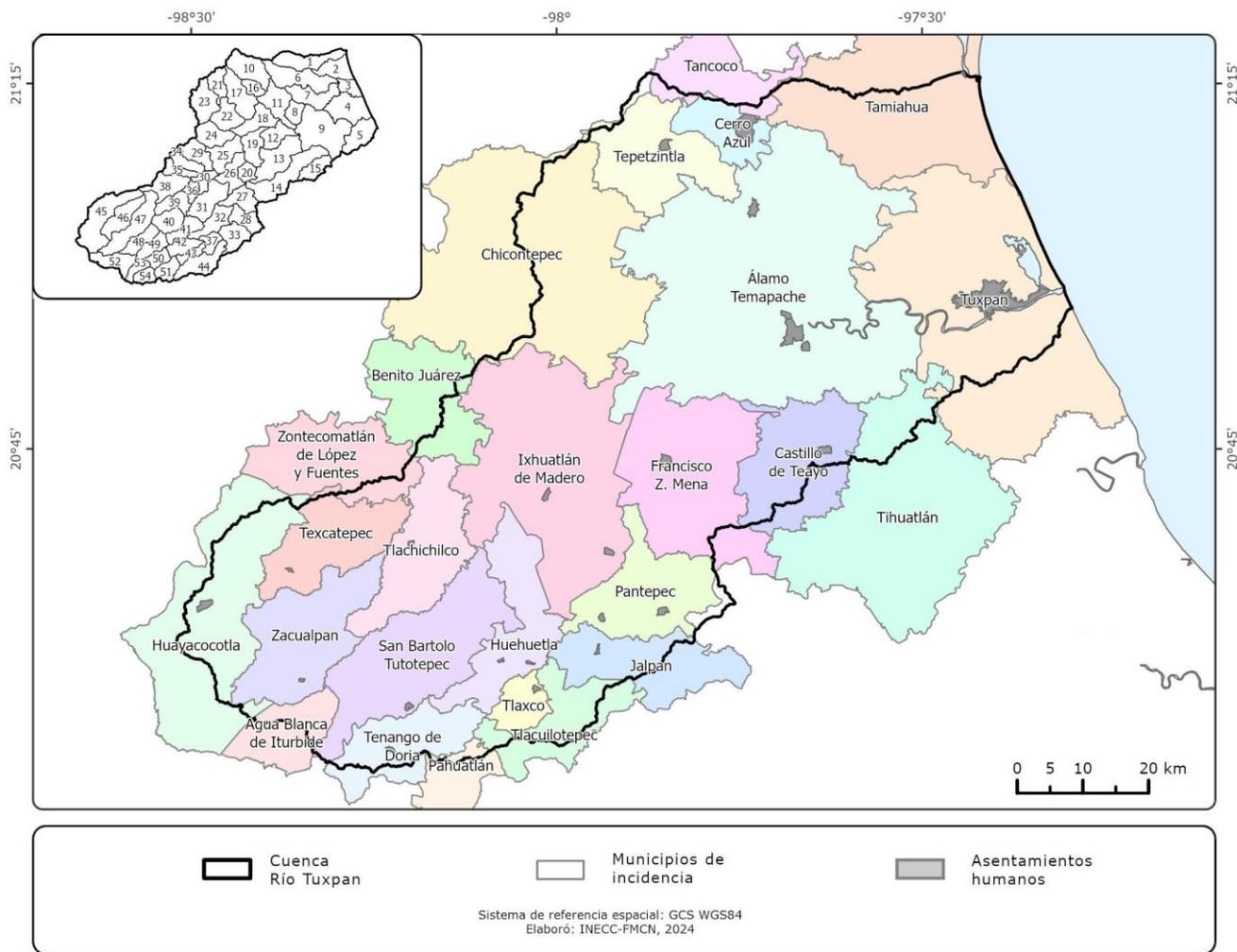


Fig. 13. Mapa de municipios con incidencia en la cuenca Río Tuxpan.

El sector económico con mayor presencia en la cuenca del RT, considerando el número de unidades económicas, es el del comercio al por menor, seguido por otros servicios excepto actividades gubernamentales y servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas (DENUE, INEGI, 2022a) (Tabla 9).

Tabla 9. Número de unidades económicas por sector y cantidad de personas empleadas en la cuenca del Río Tuxpan (INEGI, 2022a). Los sectores se presentan ordenados de mayor a menor de acuerdo con el total.

| Actividades económicas | Cantidad de personas empleadas | | | | | | | Total |
|---|--------------------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|-------|--------------|
| | 0 a 5 | 6 a 10 | 11 a 30 | 31 a 50 | 51 a 100 | 101 a 250 | > 251 | |
| Comercio al por menor (sector 46) | 6207 | 171 | 89 | 16 | 8 | 6 | | 6,497 |
| Otros servicios excepto actividades gubernamentales (sector 81) | 2224 | 105 | 81 | 16 | 1 | 0 | 1 | 2,428 |
| Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas (sector 72) | 2100 | 114 | 39 | 7 | 2 | 1 | 0 | 2,263 |
| Industrias manufactureras (sector 31-33) | 1606 | 45 | 12 | 3 | 1 | | 2 | 1,669 |

| Actividades económicas | Cantidad de personas empleadas | | | | | | | Total |
|--|--------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| | 0 a 5 | 6 a 10 | 11 a 30 | 31 a 50 | 51 a 100 | 101 a 250 | > 251 | |
| Servicios de salud y de asistencia social (sector 62) | 527 | 58 | 35 | 5 | 2 | 6 | 2 | 635 |
| Servicios educativos (sector 61) | 190 | 140 | 139 | 21 | 16 | 6 | | 512 |
| Comercio al por mayor (sector 43) | 292 | 35 | 19 | 4 | 5 | 2 | | 357 |
| Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales (sector 93) | 175 | 41 | 41 | 13 | 11 | 9 | 12 | 302 |
| Servicios financieros y de seguros (sector 52) | 195 | 44 | 24 | 2 | 2 | 0 | 0 | 267 |
| Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación (sector 56) | 216 | 5 | 0 | 0 | 3 | 2 | | 226 |
| Servicios profesionales, científicos y técnicos (sector 54) | 203 | 10 | 5 | 1 | | 0 | 0 | 219 |
| Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos (sector 71) | 151 | 7 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 160 |
| Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (sector 53) | 140 | 12 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 156 |
| Transportes, correos y almacenamiento (sector 48-49) | 75 | 16 | 21 | 10 | 2 | 1 | 1 | 126 |
| Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza (sector 11) | 74 | 7 | 8 | 1 | 4 | 0 | 0 | 94 |
| Información en medios masivos (sector 51) | 59 | 12 | 9 | 1 | 1 | 0 | 0 | 82 |
| Construcción (sector 23) | 18 | 3 | 12 | 1 | 4 | 3 | 2 | 43 |
| Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final (sector 22) | 12 | 9 | 7 | 1 | | 1 | | 30 |
| Minería (sector 21) | 4 | 3 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11 |
| Corporativos (sector 55) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 14,468 | 837 | 549 | 102 | 64 | 37 | 20 | 16,077 |

3.2.4. Actividades ganaderas y de aprovechamiento forestal

De acuerdo con el Marco Censal Agropecuario (INEGI, 2016), Cerro Azul representa el municipio con mayor porcentaje destinado a actividades ganaderas (71.77%), lo que corresponde a una superficie total de 64.72 km² (516 terrenos). En el municipio Tancoco se registran 660 terrenos que ocupan una extensión de 108.89 km², mientras que en Tepetzintla se contabilizan 866 terrenos en una superficie de 148.40 km², lo que representa el 70.38% y 65.88% de sus áreas municipales, respectivamente. En

todos los municipios que componen la cuenca predomina la ganadería de bovinos en posesión de pequeños y medianos productores (INEGI, 2016) (Tabla 10).

Tabla 10. Número de terrenos y superficie total con actividad ganadera predominante por municipio, sin diferenciar el tipo de ganadería (INEGI, 2016). El orden de los municipios se presenta de mayor a menor de acuerdo con el porcentaje (%).

| Municipio | No. de terrenos | Superficie total (km ²) | Porcentaje de la superficie total del municipio (%) |
|----------------------------------|------------------|-------------------------------------|---|
| Cerro Azul | 516 | 64.72 | 71.77 |
| Tancoco | 660 | 108.89 | 70.38 |
| Tepetzintla | 866 | 148.40 | 65.88 |
| Tlachichilco | 862 | 127.00 | 56.73 |
| Tamiahua | 3,129 | 564.39 | 55.96 |
| Francisco Z. Mena | 509 | 233.11 | 54.85 |
| Tuxpan | 2,536 | 481.77 | 50.41 |
| Pantepec | 549 | 99.52 | 45.55 |
| Jalpan | 245 | 92.84 | 45.45 |
| Zacualpan | 661 | 103.24 | 39.46 |
| Chicontepec | 4,179 | 333.93 | 35.98 |
| Ixhuatlán de Madero | 2,266 | 205.67 | 31.00 |
| San Bartolo Tutotepec | 1,003 | 141.90 | 30.80 |
| Tihuatlán | 904 | 207.85 | 29.18 |
| Álamo Temapache | 1,499 | 360.75 | 28.50 |
| Tenango de Doria | 604 | 48.17 | 27.49 |
| Huehuetla | 756 | 58.03 | 27.35 |
| Tlaxco | 80 | 13.57 | 24.97 |
| Zontecomatlán de López y Fuentes | 300 | 57.30 | 23.87 |
| Benito Juárez | 720 | 50.74 | 22.00 |
| Huayacocotla | 530 | 106.12 | 20.49 |
| Castillo de Teayo | 163 | 54.00 | 19.98 |
| Texcatepec | 384 | 30.85 | 15.93 |
| Tlacuilotepec | 210 | 24.75 | 14.39 |
| Pahuatlán | 261 | 11.87 | 12.15 |
| Agua Blanca de Iturbide | 243 | 8.70 | 7.31 |
| TOTAL | 24,635.00 | 3,738.09 | |

Dentro de la cuenca del RT tres municipios destinan más del 10% de su superficie al aprovechamiento forestal. Los municipios de Zacualpan, Agua Blanca de Iturbide y Huayacocotla cuentan con el mayor

porcentaje de superficie, 21.14%, 14.55% y 12.48% respectivamente. En contraste, los municipios Pantepec y Castillo de Teayo dedican <0.01% de su territorio a esta actividad. (Tabla 11) (INEGI, 2016).

La Tabla 11 presenta datos sobre el número de terrenos y la superficie total destinada a la actividad forestal por municipio sin diferenciar entre los tipos de especies forestales aprovechadas. Los municipios se muestran ordenados de mayor a menor de acuerdo con el porcentaje de su superficie total dedicada a esta actividad.

Tabla 11 Número de terrenos y superficie total destinada principalmente a la actividad forestal por municipio. Se muestra los datos generales sin diferencia entre los tipos de especies forestales aprovechadas (INEGI, 2016).

| Municipio | No. de terrenos | Superficie total (km ²) | Porcentaje de la superficie total del municipio (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------------|---|
| Zacualpan | 203 | 55.31 | 21.14 |
| Agua Blanca de Iturbide | 176 | 17.32 | 14.55 |
| Huayacocotla | 233 | 64.66 | 12.48 |
| Pahuatlán | 127 | 5.04 | 5.16 |
| Jalpan | 8 | 8.97 | 4.39 |
| San Bartolo Tutotepec | 14 | 4.54 | 1.27 |
| Tenango de Doria | 7 | 0.22 | 1.13 |
| Texcatepec | 7 | 1.39 | 0.72 |
| Tancoco | 23 | 1.08 | 0.70 |
| Tlacuilotepec | 5 | 1.03 | 0.60 |
| Tihuatlán | 13 | 3.91 | 0.55 |
| Francisco Z. Mena | 6 | 2.26 | 0.53 |
| Benito Juárez | 20 | 1.14 | 0.49 |
| Chicontepepec | 112 | 3.91 | 0.42 |
| Tuxpan | 24 | 3.56 | 0.37 |
| Tlachichilco | 8 | 0.79 | 0.35 |
| Álamo Temapache | 11 | 2.74 | 0.22 |
| Ixhuatlán de Madero | 99 | 1.28 | 0.19 |
| Tepetzintla | 7 | 0.38 | 0.17 |
| Zontecomatlán de López y Fuentes | 3 | 0.31 | 0.13 |
| Cerro Azul | 1 | 0.11 | 0.12 |
| Tamiahua | 8 | 0.34 | 0.03 |
| Huehuetla | 2 | 0.05 | 0.02 |
| Pantepec | 5 | 0.03 | 0.01 |
| Castillo de Teayo | 2 | 0.02 | 0.01 |
| TOTAL | 1,124 | 180.38 | |

3.2.5. Vulnerabilidad de la ganadería al cambio climático

La Ley General de Cambio Climático define a la vulnerabilidad como “*el grado en que los sistemas pueden verse afectados adversamente por el cambio climático, dependiendo de si éstos son capaces o incapaces de afrontar los impactos negativos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos*”. La vulnerabilidad no sólo depende de las condiciones climáticas adversas, sino también de la capacidad de la sociedad de anticiparse, enfrentar, resistir y recuperarse de un determinado impacto (DOF, 2012a).

La vulnerabilidad (V) se define en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad adaptativa (DOF, 2012a; IPCC, 2020):

$$V = E + S - CA$$

Donde:

Exposición (E) = amenazas climáticas que afectan al objeto vulnerable (actual y futura).

Sensibilidad (S) = condiciones susceptibles del objeto vulnerable.

Capacidad Adaptativa (CA) = capacidades institucionales para atender los impactos potenciales del cambio climático.

De acuerdo con los resultados reportados en el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC, INECC, 2019), los municipios de San Bartolo Tutotepec, Zacualpan, Tenango de Doria, Tlaxco y Pahuatlán presentan un grado alto de vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico o inundaciones (Tabla 12, Fig. 14). Aunque la capacidad adaptativa de estas localidades se clasifica como media o alta, la exposición y sensibilidad también es elevada. Esto se debe, en gran medida, a que muchas unidades de producción pecuaria se ubican en áreas propensas a inundaciones y enfrentan estrés hídrico durante la temporada de estiaje. Además, históricamente, la zona baja de la cuenca del RT ha sufrido inundaciones extraordinarias en 1930, 1944, 1955, 1999 y 2005, que han ocasionado afectaciones significativas a la agricultura, la vivienda, el transporte, las comunicaciones, el abastecimiento de agua y el saneamiento de canales y drenajes (INEGI, 2016b; Vergara, et al., 2011).

Tabla 12. Grados de vulnerabilidad actual de la producción ganadera extensiva ante estrés hídrico e inundaciones de los municipios que inciden en la cuenca del RT, con base en los resultados del ANVCC (INECC, 2019).

| Vulnerabilidad | Municipio | Exposición | Sensibilidad | Capacidad adaptativa | Grado de vulnerabilidad actual |
|---|-----------------------|------------|--------------|----------------------|--------------------------------|
| Vulnerabilidad de la producción forrajera ante estrés hídrico | Álamo Temapache | Bajo | Alto | Alto | Medio |
| | Ixhuatlán de Madero | Bajo | Muy alto | Alto | Medio |
| | Tuxpan | Medio | Bajo | Medio | Medio |
| | Chicontepec | Bajo | Alto | Alto | Medio |
| | Francisco Z. Mena | Bajo | Muy alto | Muy alto | Bajo |
| | Tamiahua | Bajo | Bajo | Medio | Medio |
| | San Bartolo Tutotepec | Bajo | Muy alto | Alto | Medio |
| | Zacualpan | Bajo | Muy alto | Alto | Medio |
| | Huayacocotla | Bajo | Alto | Medio | Medio |
| | Tlachichilco | Medio | Alto | Alto | Medio |
| | Tepetzintla | Bajo | Bajo | Medio | Medio |
| | Pantepec | Bajo | Muy alto | Muy alto | Bajo |
| | Huehuetla | Bajo | Muy alto | Muy alto | Medio |
| | Castillo de Teayo | Bajo | Muy alto | Medio | Medio |
| | Texcatepec | Medio | Muy alto | Alto | Alto |
| | Tenango de Doria | Bajo | Muy alto | Muy alto | Medio |
| | Jalpan | Bajo | Muy alto | Medio | Medio |
| | Tihuatlán | Bajo | Alto | Muy alto | Medio |
| | Tlacuilotepec | Bajo | Muy alto | Medio | Medio |
| | Cerro Azul | Bajo | Bajo | Medio | Medio |
| Benito Juárez | Bajo | Muy alto | Alto | Medio | |
| Tlaxco | Bajo | Muy alto | Medio | Alto | |
| Agua Blanca de Iturbide | Medio | Muy alto | Alto | Medio | |
| Zontecomatlán de López y Fuentes | Bajo | Muy alto | Alto | Medio | |
| Tancoco | Bajo | Alto | Medio | Medio | |
| Pahuatlán | Medio | Alto | Medio | Medio | |
| Vulnerabilidad de la producción ganadera por inundaciones | Álamo Temapache | Bajo | Alto | Muy alto | Sin vulnerabilidad |
| | Ixhuatlán de Madero | Medio | Alto | Alto | Medio |
| | Tuxpan | Bajo | Alto | Alto | Bajo |
| | Chicontepec | Bajo | Muy alto | Alto | Bajo |
| | Francisco Z. Mena | Bajo | Muy alto | Alto | Medio |
| | Tamiahua | Bajo | Alto | Muy alto | Bajo |
| | San Bartolo Tutotepec | Alto | Alto | Medio | Alto |
| | Zacualpan | Alto | Muy alto | Alto | Alto |
| | Huayacocotla | Medio | Muy alto | Muy alto | Medio |
| | Tlachichilco | Alto | Muy alto | Muy alto | Medio |
| | Tepetzintla | Bajo | Alto | Alto | Medio |
| | Pantepec | Medio | Muy alto | Muy alto | Medio |
| | Huehuetla | Medio | Alto | Alto | Medio |
| | Castillo de Teayo | Bajo | Medio | Muy alto | Sin vulnerabilidad |
| Texcatepec | Alto | Muy alto | Alto | Medio | |

| Vulnerabilidad | Municipio | Exposición | Sensibilidad | Capacidad adaptativa | Grado de vulnerabilidad actual |
|--|----------------------------------|------------|--------------|----------------------|--------------------------------|
| | Tenango de Doria | Alto | Alto | Medio | Alto |
| | Jalpan | Medio | Muy alto | Medio | Medio |
| | Tihuatlán | Bajo | Alto | Muy alto | Sin vulnerabilidad |
| | Tlacuilotepec | Alto | Muy alto | Alto | Medio |
| | Cerro Azul | Bajo | Medio | Medio | Bajo |
| | Benito Juárez | Medio | Alto | Alto | Medio |
| | Tlaxco | Alto | Alto | Medio | Alto |
| | Agua Blanca de Iturbide | Medio | Medio | Medio | Medio |
| | Zontecomatlán de López y Fuentes | Medio | Muy alto | Alto | Medio |
| | Tancoco | Bajo | Muy alto | Medio | Medio |
| | Pahuatlán | Muy alto | Alto | Medio | Alto |
| Vulnerabilidad de la producción ganadera ante estrés hídrico | Álamo Temapache | Bajo | Muy alto | Muy alto | Bajo |
| | Ixhuatlán de Madero | Bajo | Medio | Alto | Bajo |
| | Tuxpan | Bajo | Alto | Alto | Bajo |
| | Chicontepepec | Bajo | Alto | Alto | Bajo |
| | Francisco Z. Mena | Bajo | Alto | Muy alto | Sin vulnerabilidad |
| | Tamiahua | Bajo | Alto | Alto | Bajo |
| | San Bartolo Tutotepec | Medio | Alto | Muy alto | Bajo |
| | Zacualpan | Medio | Alto | Alto | Medio |
| | Huayacocotla | Medio | Alto | Alto | Medio |
| | Tlachichilco | Medio | Alto | Alto | Medio |
| | Tepetzintla | Bajo | Alto | Alto | Bajo |
| | Pantepec | Bajo | Muy alto | Muy alto | Bajo |
| | Huehuetla | Medio | Alto | Muy alto | Bajo |
| | Castillo de Teayo | Bajo | Alto | Alto | Bajo |
| | Texcatepec | Medio | Alto | Alto | Bajo |
| | Tenango de Doria | Alto | Alto | Muy alto | Alto |
| | Jalpan | Medio | Muy alto | Alto | Medio |
| | Tihuatlán | Bajo | Alto | Muy alto | Sin vulnerabilidad |
| | Tlacuilotepec | Medio | Muy alto | Alto | Medio |
| | Cerro Azul | Alto | Alto | Alto | Medio |
| Benito Juárez | Bajo | Medio | Alto | Bajo | |
| Tlaxco | Medio | Alto | Alto | Medio | |
| Agua Blanca de Iturbide | Alto | Medio | Muy alto | Bajo | |
| Zontecomatlán de López y Fuentes | Bajo | Alto | Alto | Bajo | |
| Tancoco | Bajo | Muy alto | Alto | Medio | |
| Pahuatlán | Muy alto | Alto | Medio | Alto | |

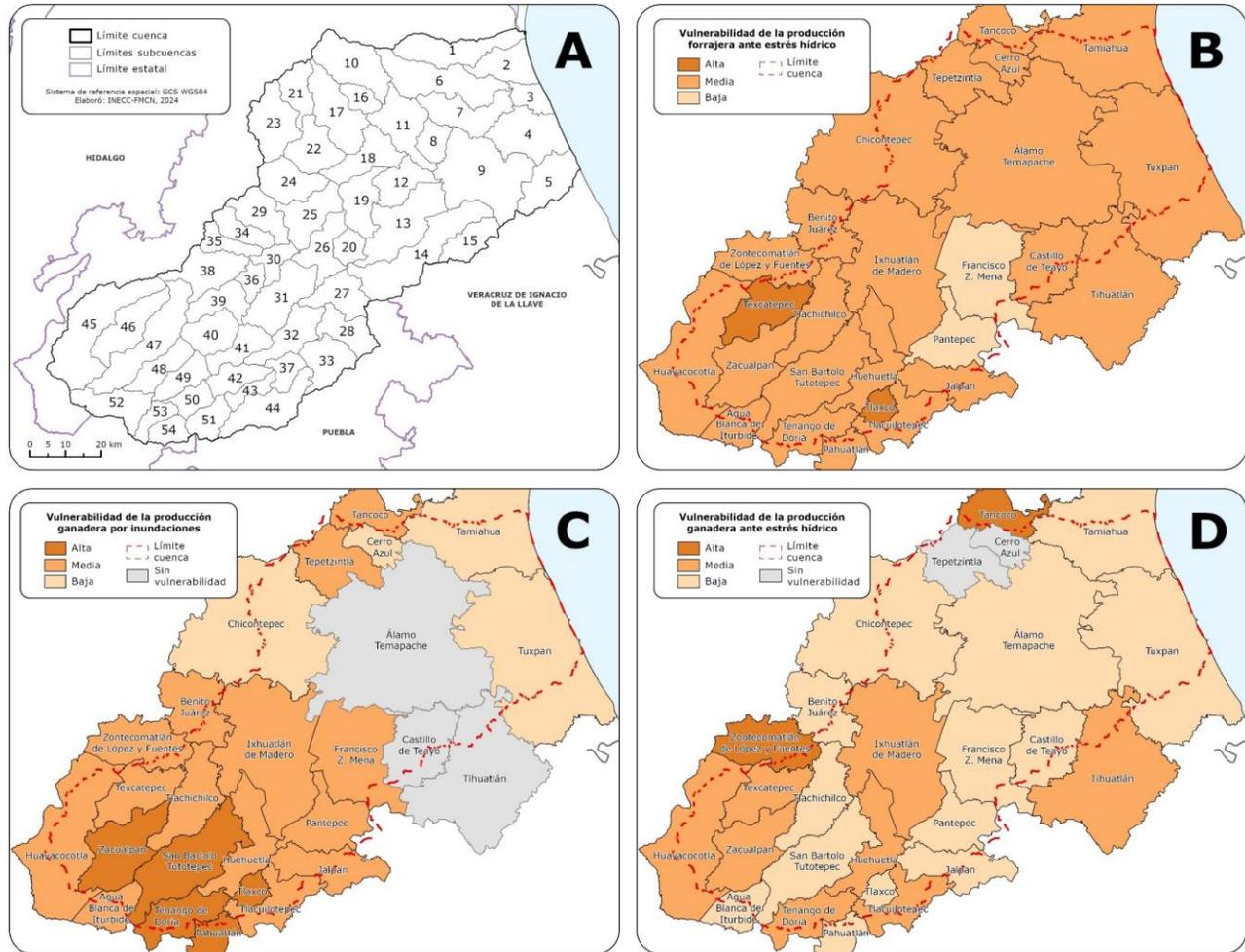


Fig. 14. Mapas de vulnerabilidad al cambio climático de la actividad ganadera en los municipios de la cuenca Río Tuxpan (INECC, 2019).

3.2.6. 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 calculado, 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 la cuenca RT, 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, 2022a, 2020).

El índice de brecha de género analiza de manera general la magnitud de la desigualdad entre las mujeres y los hombres. 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 13.

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 a través de una técnica de suma ponderada. 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 RT. Por lo tanto, **mayores valores en el ICSE y en el Índice de Brecha de Género (cerca de uno) representan condiciones socioeconómicas más desfavorables y mayor desigualdad de género, respectivamente, lo cual exacerba las condiciones de vulnerabilidad climática.**

La Fig. 15 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, 2024). Una descripción más detallada de las pruebas estadísticas, valores de interpretación, ecuaciones, recomendaciones y la justificación de las variables socioeconómicas seleccionadas en el ICSE se presenta en la guía metodológica de los PAMIC (INECC-FMCN, 2023).

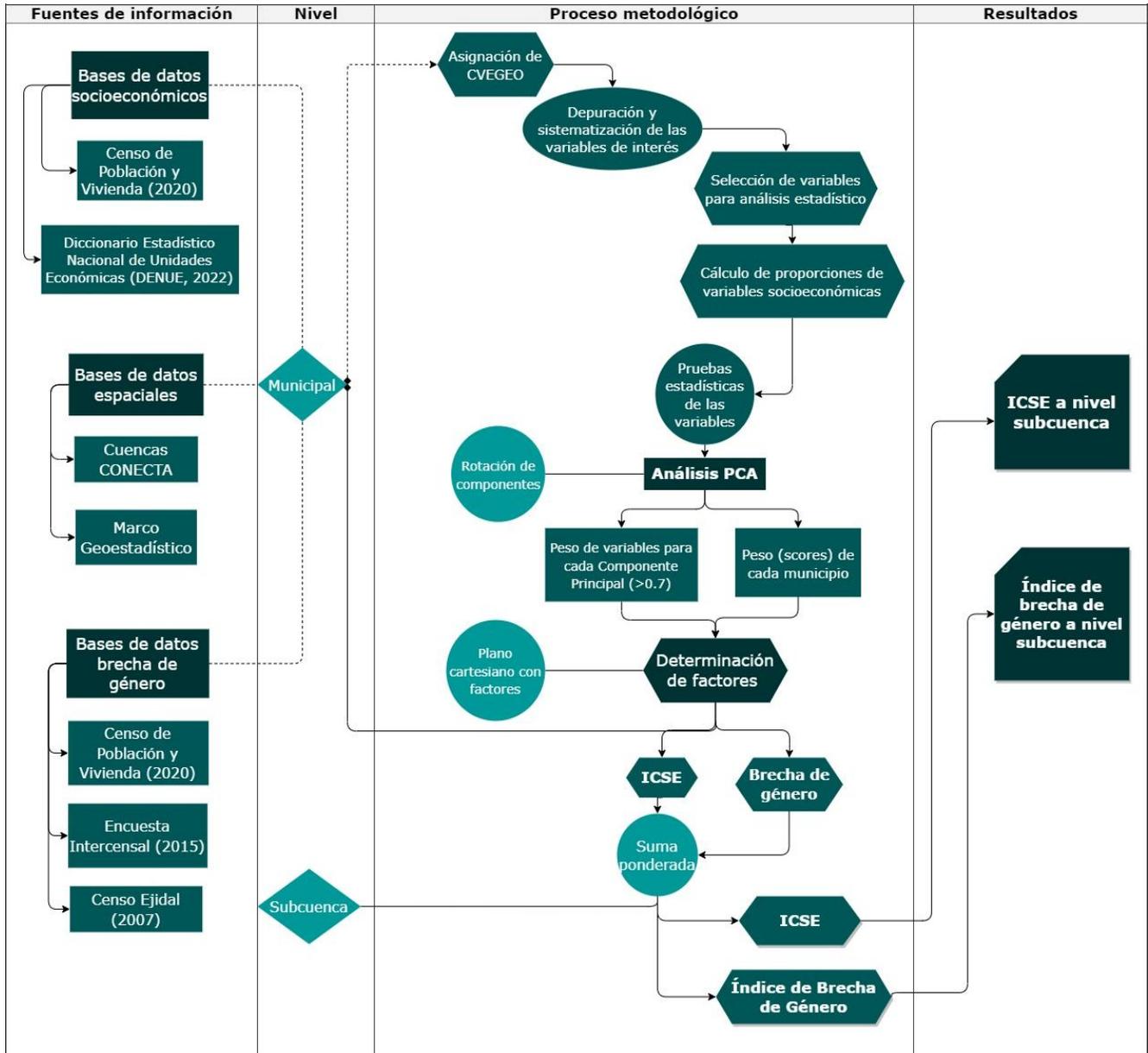


Fig. 15. Proceso metodológico para el análisis e interpretación del ICSE y brecha de género a nivel de subcuenca.

Tabla 13. Descripción de indicadores de mayor significancia estadística para la cuenca del Río Tuxpan.

| Indicador | Descripción | ICSE | Brecha de género |
|--|--|------|------------------|
| Etnicidad | | | |
| Población que habla alguna lengua indígena | 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). | ◆ | ◆ |
| Educación | | | |
| Población sin escolaridad | Porcentaje de personas de 15 a 130 años que no aprobaron ningún grado escolar o que sólo tienen nivel preescolar (INEGI, 2020). | ◆ | ◆ |
| Características económicas | | | |
| Población económicamente inactiva | 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). | ◆ | ◆ |
| Trabajo no remunerado | 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 | 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, 2022a) 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 | | | |
| Población sin afiliaciones a servicios de salud | Porcentaje de personas que no están afiliadas a servicios médicos en ninguna institución pública o privada (INECC, 2015; INEGI, 2020, 2015). | ◆ | ◆ |
| Vivienda | | | |
| Ocupación de viviendas particulares | 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 letrina (pozo u hoyo) | Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de letrina (pozo u hoyo) (INEGI, 2020). | ◆ | |
| Viviendas sin drenaje | Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje (INEGI, 2020). | ◆ | |
| Viviendas sin bienes materiales | 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 | | | |
| Personas con tenencia de la tierra | Porcentaje de personas ejidatarias desagregadas por sexo (INEGI, 2007) | | ◆ |

De acuerdo con los resultados, las subcuencas presentan valores promedio de 0.52 en el ICSE y de 0.65 en el índice de brecha de género, ambos interpretados en un intervalo de cero (condiciones socioeconómicas más favorables) a uno (condiciones menos favorables) (Tabla 14).

El 39% de las subcuencas registran valores de ICSE superiores a 0.5, lo que indica condiciones socioeconómicas más desfavorables para la población (Fig. 16). Respecto a la brecha de género, el 68% de las subcuencas registran valores superiores a 0.5 las cuales muestran una mayor desigualdad en comparación con el resto de las subcuencas (Fig. 17). De acuerdo con el CONEVAL (2020), alrededor del 70% de la población que reside en dieciséis municipios de la cuenca RT se encuentra en condiciones de pobreza. Las ponderaciones y valores específicos de los indicadores por subcuenca se pueden consultar en el Anexo 1.

Tabla 14. Valores ordenados de mayor (condiciones socioeconómicas y de género menos favorables) a menor (condiciones más favorables) con base en el ICSE y la brecha de género para cada subcuenca de la cuenca del Río Tuxpan.

| ID | Cuenca | Subcuencas | ICSE | Brecha de género |
|----|--------|------------------------|------|------------------|
| 47 | Tuxpan | Tlachichilco | 0.9 | 0.9 |
| 46 | Tuxpan | Texcatepec | 0.84 | 0.84 |
| 48 | Tuxpan | San Juan de las Flores | 0.81 | 0.81 |
| 40 | Tuxpan | San José Naranjal | 0.76 | 0.77 |
| 42 | Tuxpan | Huehuetla | 0.75 | 0.92 |
| 49 | Tuxpan | Xuchitlán | 0.75 | 0.75 |
| 41 | Tuxpan | San Esteban | 0.74 | 0.87 |
| 50 | Tuxpan | San Bartolo Tutotepec | 0.71 | 0.71 |
| 53 | Tuxpan | Buena Vista | 0.69 | 0.63 |
| 35 | Tuxpan | Tenantitla | 0.66 | 0.84 |
| 38 | Tuxpan | Chintipan | 0.66 | 0.82 |
| 39 | Tuxpan | Otatitlán | 0.66 | 0.89 |
| 43 | Tuxpan | San Antonio el Grande | 0.6 | 0.73 |
| 52 | Tuxpan | Zacualpan | 0.6 | 0.56 |
| 45 | Tuxpan | Huayacocotla | 0.58 | 0.4 |
| 32 | Tuxpan | San Francisco | 0.54 | 0.91 |
| 31 | Tuxpan | San Lorenzo Achiotepic | 0.52 | 0.98 |
| 34 | Tuxpan | Colatlán | 0.52 | 0.98 |
| 36 | Tuxpan | Huitzitzilco | 0.52 | 1 |
| 37 | Tuxpan | San Gregorio | 0.51 | 0.58 |
| 51 | Tuxpan | San Pablo el Grande | 0.51 | 0.36 |
| 1 | Tuxpan | Estero de Milpas | 0.5 | 0.48 |
| 2 | Tuxpan | Venustiano Carranza | 0.5 | 0.5 |
| 8 | Tuxpan | Vara Alta | 0.5 | 0.5 |
| 10 | Tuxpan | Tepetzintla | 0.5 | 0.5 |
| 11 | Tuxpan | Potrero del Llano | 0.5 | 0.5 |

| ID | Cuenca | Subcuencas | ICSE | Brecha de género |
|----|--------|-----------------------------------|------|------------------|
| 12 | Tuxpan | Álamo | 0.5 | 0.5 |
| 15 | Tuxpan | Francisco Villa | 0.5 | 0.53 |
| 16 | Tuxpan | Zapotitlán | 0.5 | 0.63 |
| 17 | Tuxpan | La Guásima | 0.5 | 0.62 |
| 18 | Tuxpan | Vegas de la Soledad y Soledad dos | 0.5 | 0.5 |
| 21 | Tuxpan | Tlacolula | 0.5 | 0.75 |
| 22 | Tuxpan | Tecerca Vieja | 0.5 | 0.67 |
| 23 | Tuxpan | El mirador | 0.5 | 0.75 |
| 24 | Tuxpan | Ixcacuatitla | 0.5 | 0.75 |
| 25 | Tuxpan | Tocohuite | 0.5 | 0.74 |
| 29 | Tuxpan | Xochimilco | 0.5 | 0.97 |
| 30 | Tuxpan | Ixhuatlán de Madero | 0.5 | 1 |
| 54 | Tuxpan | Tenango de Doria | 0.5 | 0.25 |
| 33 | Tuxpan | Mecapalapa | 0.49 | 0.64 |
| 6 | Tuxpan | Cerro Azul | 0.48 | 0.44 |
| 19 | Tuxpan | La Camelia (Palo Blanco) | 0.46 | 0.54 |
| 14 | Tuxpan | Castillo de Teayo | 0.45 | 0.7 |
| 13 | Tuxpan | Estero del Ídolo | 0.44 | 0.61 |
| 28 | Tuxpan | Ameluca | 0.41 | 0.65 |
| 7 | Tuxpan | Temapache | 0.38 | 0.38 |
| 44 | Tuxpan | Papaloctipan | 0.36 | 0.37 |
| 9 | Tuxpan | Tuxpam de Rodríguez Cano | 0.35 | 0.35 |
| 3 | Tuxpan | Majahual | 0.32 | 0.32 |
| 26 | Tuxpan | Metlaltoyuca | 0.31 | 0.77 |
| 27 | Tuxpan | Jaltocán | 0.3 | 0.77 |
| 4 | Tuxpan | Banderas | 0.25 | 0.25 |
| 5 | Tuxpan | La Victoria (La Peñita) | 0.25 | 0.25 |
| 20 | Tuxpan | La Guadalupe | 0.25 | 0.75 |

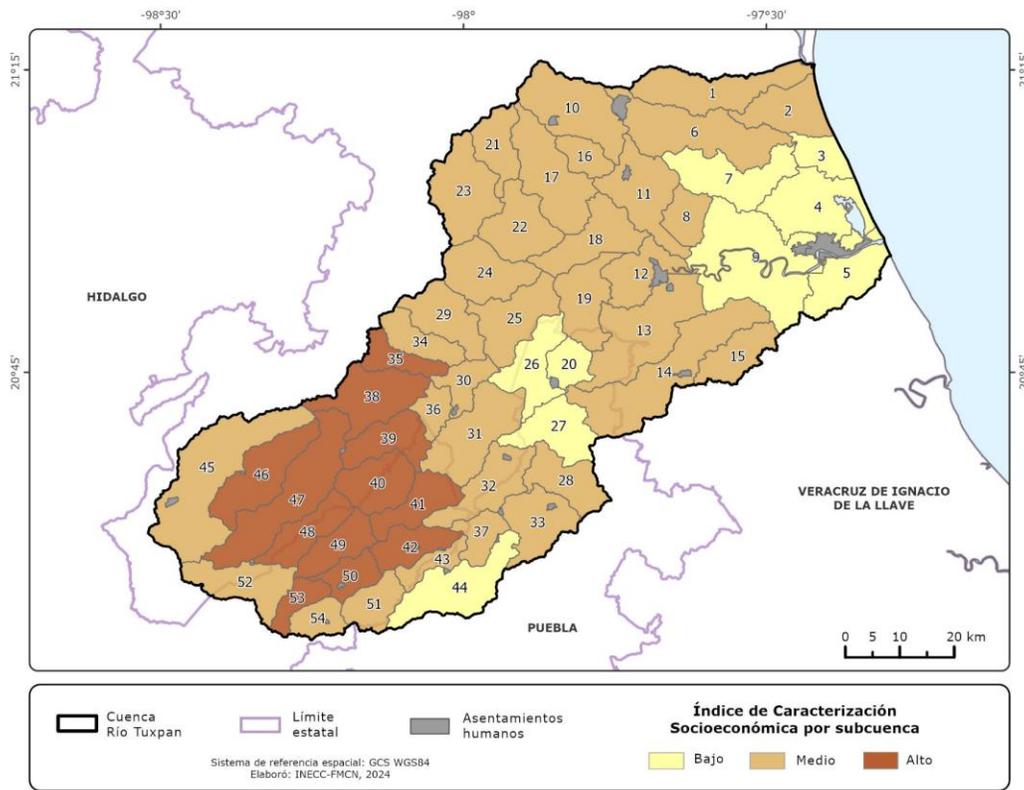


Fig. 16. Índice de Caracterización Socioeconómica (ICSE) de las subcuencas del Río Tuxpan (INEGI, 2022a, 2020).

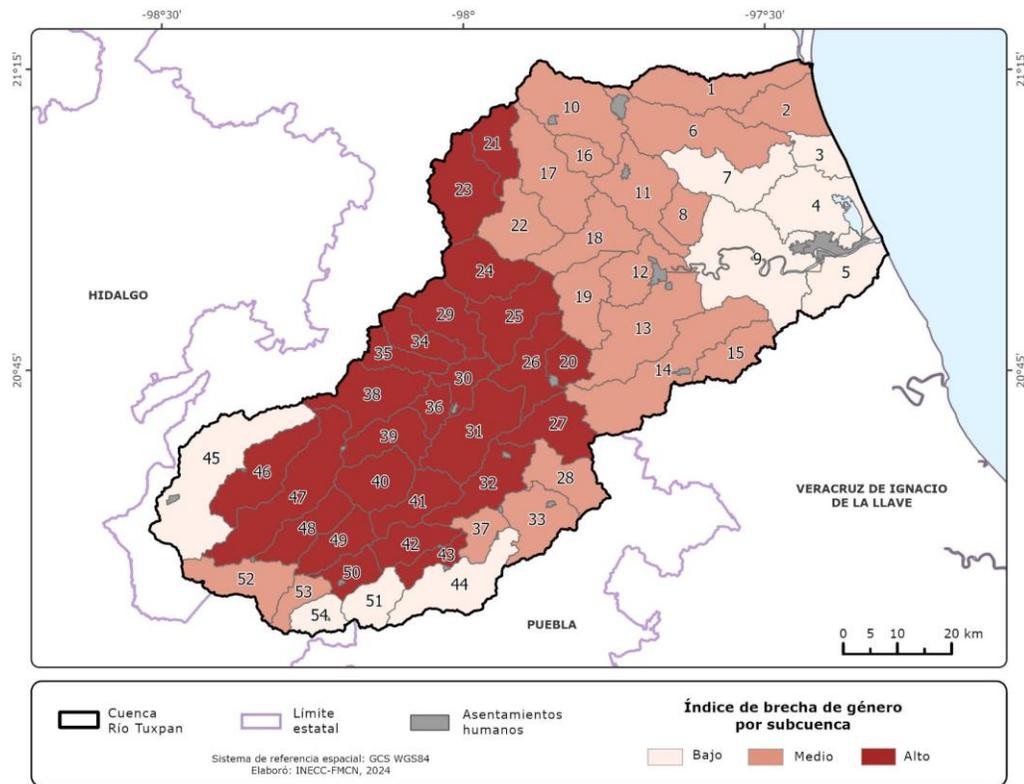


Fig. 17. Índice de brecha de género de las subcuencas del Río Tuxpan (INECC, 2015; INEGI, 2020, 2015, 2007).

3.3. Caracterización político institucional

3.3.1 Gestión institucional del agua

La solución de los desafíos vinculados con el abastecimiento de agua, tanto en cantidad como en calidad, requiere de la participación activa de las personas usuarias, las comunidades locales y la sociedad en general. En México, la participación y el compromiso de diversos sectores en la gestión del agua se ha ido fortaleciendo gradualmente, tanto en ámbitos formales como informales. No obstante, aún es fundamental establecer espacios inclusivos para el diálogo, la difusión de información y la concertación de soluciones entre los diferentes sectores de la población.

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) estipula que los **Consejos de Cuenca (CCu)** 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. De acuerdo con la ley, estos Consejos representan instancias de apoyo, concertación, consulta y asesoría entre la CONAGUA y las diferentes personas usuarias en el país. En ellos convergen los tres órdenes de gobierno, representantes particulares y de organizaciones de la sociedad civil (CONAGUA, 2021a).

Los CCu se apoyan en órganos auxiliares para avanzar en sus objetivos, como las comisiones de cuenca para las subcuencas, los comités de cuenca para las microcuencas, los comités técnicos de aguas subterráneas (Cotas) y los comités de playas limpias en las zonas costeras del país.

En relación con la participación social en la gestión del agua en la cuenca del RT, el Organismo de Cuenca de las Regiones Hidrológico-Administrativas IX Golfo Norte y X Golfo Centro a través de Consejo de Cuenca Río Pánuco y Ríos Tuxpan al Jamapa suman esfuerzos en el territorio para fortalecer la gestión integral del agua (Fig. 18).

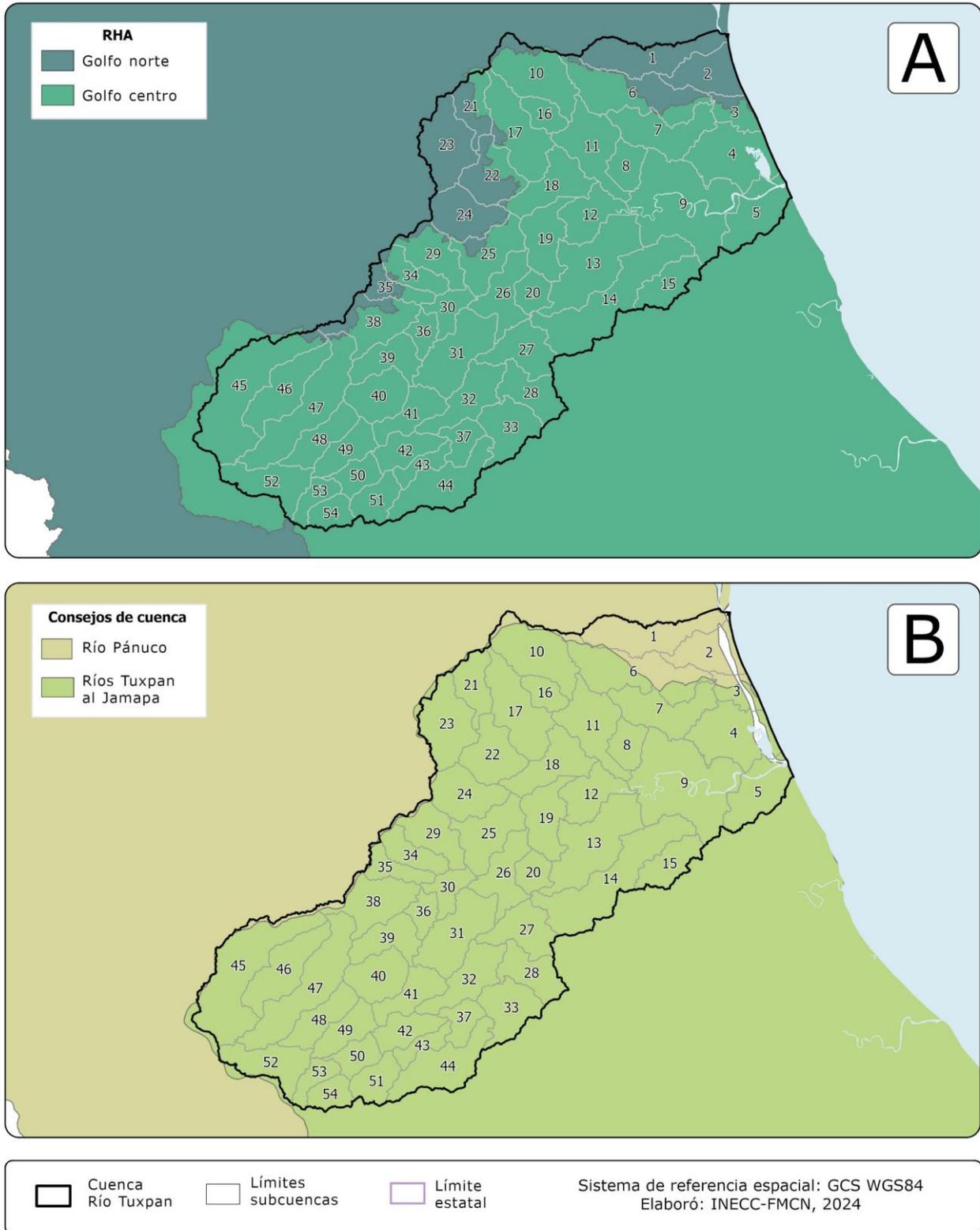


Fig. 18. A) Mapa de incidencia de las Regiones Hidrológico Prioritarias Golfo Norte y Golfo Centro. B) Localización e incidencia de los Consejos de Cuenca con incidencia en la cuenca del río Tuxpan. (CONAGUA, 2024).

3.4.2. Instrumentos de planeación y áreas de importancia ambiental

En la cuenca del RT se encuentran diversas áreas de importancia biocultural, así como instrumentos de planificación territorial a diferentes niveles de gestión. Estos incluyen dos Ordenamientos Ecológicos, tres Áreas Naturales Protegidas (ANP), cuatro Regiones Prioritarias, cinco esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), dos sitios RAMSAR, un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA), y veinticuatro Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) (Tabla 15, Fig. 19).

Tabla 15. Instrumentos de planeación territorial y áreas de importancia ambiental en la cuenca del Río Tuxpan (SIGEIA-SEMARNAT, 2022).

| Tipo de instrumento o área | Categoría o nivel | Nombre | Superficie total (km ²) | Área dentro de la cuenca RT (km ²) | Porcentaje del área dentro de la cuenca RT (%) | Descripción |
|----------------------------------|---|---|-------------------------------------|--|--|--|
| Ordenamiento Ecológico | Ordenamiento Ecológico General del Territorio | Lomeríos de La Costa Golfo Norte | 11,828.6 | 4119.9 | 34.83 | Política ambiental de Restauración, Protección y Aprovechamiento Sustentable. Nivel de atención prioritaria Muy alta. Rectores del desarrollo: Forestal e industria (DOF, 2012b) |
| | | Karst Huasteco Sur | 13,373.2 | 2,610.8 | 19.52 | Política ambiental de Restauración, Protección y Aprovechamiento Sustentable. Nivel de atención prioritaria Media. Rectores del desarrollo: Preservación de Flora y Fauna (DOF, 2012b) |
| Área Natural Protegida - Federal | Reserva Ecológica | Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan | 305.7 | 305.7 | 100 | Fecha de decreto: 05/06/2009 |
| Área Natural Protegida - Estatal | Reserva Ecológica | Sierra de Otontepec | 151.5 | 55.8 | 36.83 | Fecha de decreto: 02/03/2005 |
| | Zona de preservación ecológica | Chicamole | 1.8 | 1.8 | 100 | Fecha de decreto: 12/12/2008 |
| Región prioritaria | Región Terrestre Prioritaria (RTP) | Bosques Mesófilos de la Sierra Madre Oriental | 3964.5 | 1130.3 | 28.51 | Clave de RTP: 102 |
| | | Laguna de Tamiahua | 1418.7 | 142.1 | 10.02 | Clave de RTP: 103 |
| | Región Marina Prioritaria (RMP) | Lagunas Pueblo Viejo - Tamiahua | 6,448.8 | 34.5 | 0.53 | Clave de RMP: 47 |
| | | Humedales costeros y arrecifes de Tuxpan | 1135.4 | 172.5 | 15.19 | Clave de RMP: 55 |
| Otros | Esquema de Pagos por Servicios Ambientales | PSA-Pagos por Servicios Ambientales | 1.1 | 1.12 | 100 | Folio: PSAAAP0618302837 |

| Tipo de instrumento o área | Categoría o nivel | Nombre | Superficie total (km ²) | Área dentro de la cuenca RT (km ²) | Porcentaje del área dentro de la cuenca RT (%) | Descripción |
|----------------------------|-------------------|--|-------------------------------------|--|--|--------------------------------|
| | | PSA-Pagos por Servicios Ambientales | 1.05 | 1.05 | 100 | Folio: PSAAAP1419300067 |
| | | PSA-Pagos por Servicios Ambientales | 1.86 | 1.86 | 100 | Folio: PSAAAP1419300066 |
| | | PSA-Pagos por Servicios Ambientales | 1.24 | 1.24 | 100 | Folio: PSAAAP2721300019 |
| | | PSA-Pagos por Servicios Ambientales | 1.84 | 1.84 | 100 | Folio: PSAAAP2721300045 |
| RAMSAR | | Laguna de Tamiahua | 768.2 | 0.00076 | <0.001 | Sitio RAMSAR 1596 |
| | | Manglares y humedales de Tuxpan | 106.00 | 99.70 | 94.06 | Sitio RAMSAR 1602 |
| AICA | | Huayacocotla | 633.0 | 447.8 | 70.74 | Sitio AICA 42 |
| UMA | | Arroyo Grande | 0.128 | 0.128 | 100 | DGVS-UMA-VL-3752-VER |
| | | Cedro Blanco P.P. Agua Linda | 0.168 | 0.168 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0141-HGO-18 |
| | | Colotla | 0.193 | 0.193 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0115-PUE/15 |
| | | Conservación y Aprovechamiento Sustentable de Cedro Blanco | 0.253 | 0.253 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX -0131-HGO/2016 |
| | | El Gallito | 0.024 | 0.024 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0146-PUE/17 |
| | | El Getzemaní | 0.300 | 0.300 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0156-PUE-17 |
| | | El Partidero | 0.400 | 0.400 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0157-PUE-17 |
| | | El Potrero | 0.250 | 0.250 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0142-PUE/2017 |
| | | El Terreno | 0.311 | 0.311 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0145-PUE-17 |
| | | Jalpan | 0.550 | 0.550 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX -0087-PUE/12 |
| | | Jalpantepec | 3.837 | 3.837 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0158-PUE-18 |
| | | La Aguilera | 1.478 | 1.478 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0407-VER/15 |
| | | La Fábrica | 0.430 | 0.430 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX -0090-PUE/13 |
| | | La Ladera | 0.100 | 0.100 | 100 | DGVS-UMA-VL-3732-HGO |
| | | Loma Alta | 0.136 | 0.136 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0288-VER/14 |
| | | Los Tulipanes | 0.420 | 0.420 | 100 | DGVS-UMA-VL-3750-PUE |
| | | Peña de la Margen Derecha del Río Tuxpan, Veracruz | 0.011 | 0.011 | 100 | DGVS-UMA-VL-3700-VER |

| Tipo de instrumento o área | Categoría o nivel | Nombre | Superficie total (km ²) | Área dentro de la cuenca RT (km ²) | Porcentaje del área dentro de la cuenca RT (%) | Descripción |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|--|--|--------------------------------|
| | | Predio Agua Azul | 0.053 | 0.053 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0104-PUE-15 |
| | | Rancho 33 | 0.657 | 0.657 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX -0230-VER/13 |
| | | Techalotla | 0.264 | 0.264 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0127-PUE/16 |
| | | Temazate | 1.743 | 1.743 | 100 | SEMARNAT-UMA-EXT-0129-HGO/2015 |
| | | Tepozuapa | 0.967 | 0.967 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0478-VER/16 |
| | | UMA "El Columpio" | 0.708 | 0.708 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX -0101-PUE/14 |
| | | UMA "El Suspiro" | 0.439 | 0.439 | 100 | SEMARNAT-UMA-EX-0116-PUE/15 |

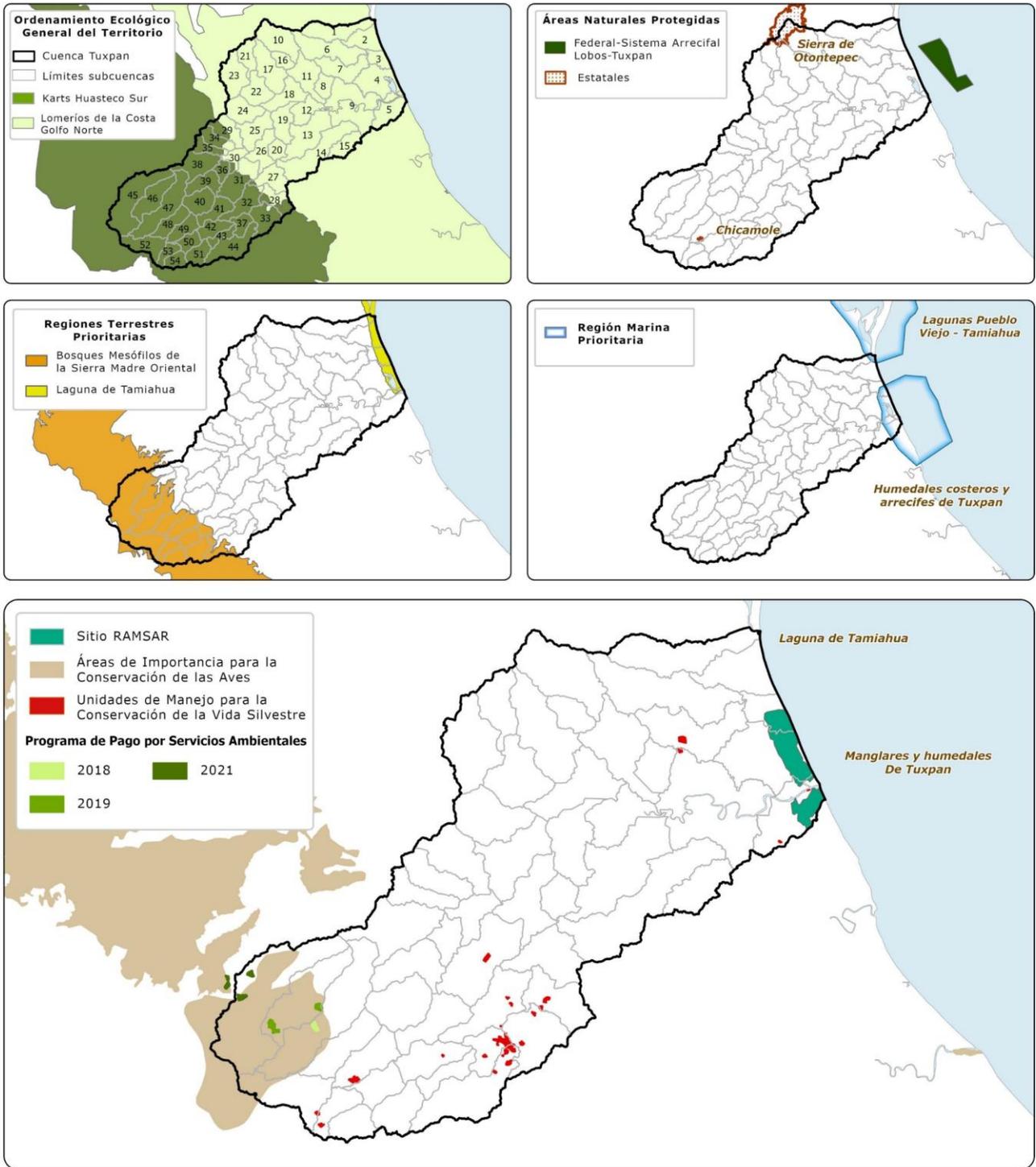


Fig. 19. Mapas de localización de las áreas de importancia ambiental y los instrumentos de planeación territorial en la cuenca del Río Tuxpan (ESDiG-SEMARNAT, 2023; SEMARNAT-CONAFOR, 2023; SIGEIA-SEMARNAT, 2022).

Análisis de los servicios ecosistémicos (SE)

En este capítulo se identifican y analizan las relaciones de oferta y demanda de los SE en la cuenca del Río Tuxpan: provisión de agua superficial y subterránea (usos consuntivos y no consuntivos), retención de nutrientes, control de tasas de erosión o transporte de sedimentos y captura de carbono. La integración de resultados se establece considerando la conectividad hidrográfica y los escenarios de cambio climático y cambios potenciales de uso de suelo y vegetación.



Análisis de los servicios ecosistémicos de la cuenca del Río Tuxpan

4. Herramientas de evaluación de servicios ecosistémicos (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). Sin embargo, 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 (Ávila-García et al., 2020). No obstante, 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. staff, programas y capacidad computacional) y el nivel de experiencia requerido para cada herramienta (Grêt-Regamey et al., 2017).

Con base en lo anterior, se seleccionó la herramienta de *INVEST-Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs* (Sharp et al., 2018) como el modelo más apropiado para alcanzar los objetivos planteados en el PAMIC, así como su adaptación al contexto socio-ecológico, la disponibilidad de datos, recursos y capacidades técnicas. Una comparación más detallada de algunas de las herramientas más utilizadas se puede consultar la guía metodológica de los PAMIC (INECC-FMCN, 2023).

InVEST ha sido una herramienta ampliamente utilizada en evaluaciones socio-ecológicas y de planeación territorial basadas en escenarios alternativos (Bagstad et al., 2013; Grêt-Regamey et al., 2017). InVEST 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 siguientes apartados presentan un resumen del proceso metodológico y los principales resultados de los elementos descritos en el esquema conceptual del componente técnico de los PAMIC (Fig. 4) para la priorización territorial de la cuenca RT. Este proceso se lleva a cabo mediante el uso de sistemas de información geográfica, la herramienta de modelación InVEST, análisis estadísticos y de redes.

4.1. Oferta o provisión de servicios ecosistémicos (SE)

Los SE que dependen de la cantidad y calidad del agua, como la provisión de 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 escala de sitio o parcela requieren equipo especializado, cuyas observaciones son difíciles de replicar a una mayor 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).

La identificación, selección y modelación de SE prioritarios asociados con actividades agropecuarias y agroforestales se llevó a cabo mediante revisiones bibliográficas, considerando los objetivos, alcances, recursos, datos, capacidades técnicas y el tiempo disponible. Este proceso se complementó con la identificación de SE por parte de actores locales en territorio a través de talleres participativos.

En los siguientes apartados se describen los principales resultados del análisis y la integración de la provisión de los SE de cantidad (rendimiento hídrico y recarga local) y calidad de agua (control de

sedimentos y retención de nutrientes) con el uso de la herramienta InVEST (Fig. 20). Una descripción más detallada del geoprocesamiento se incluye en la guía metodológica.

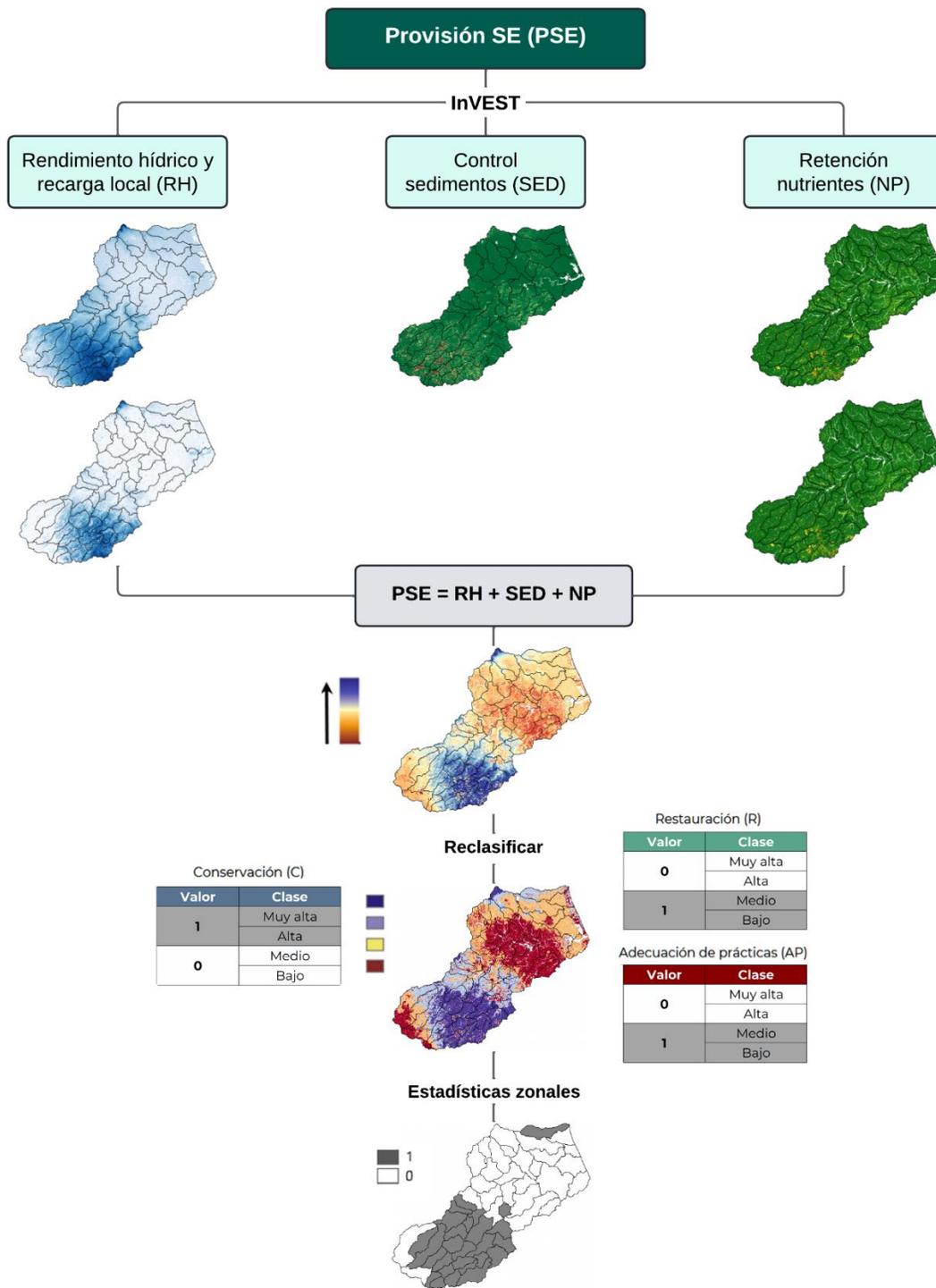


Fig. 20. Esquema de integración y análisis para la identificación de las subcuencas con mayor y menor provisión de SE. Las subcuencas prioritarias resultado del geoprocesamiento se resaltan en color sombreado.

4.1.1. Provisión de agua - Rendimiento hídrico

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 utilizó como una aproximación para estimar la cantidad promedio de agua que se produce en la cuenca y que está disponible 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 1):

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

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 requiere cinco parámetros biofísicos en formato de ráster georreferenciado como datos 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 y ; 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 (ANEXO 2).

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.

En la cuenca del RT se estimó un rendimiento hídrico anual promedio de 782 mm, de la cual se estima un promedio de 170 mm/año de recarga local. Las subcuencas con mayores valores de rendimiento hídrico y recarga local se localizan en la parte media de la cuenca y en la Sierra de Otontepec, donde se registran los volúmenes más altos de precipitación. En la parte alta de la cuenca, caracterizada por coberturas de bosque mesófilo de montaña y pino sobre suelos delgados y poco desarrollados de tipo regosol, las menores precipitaciones y temperaturas, junto con tasas elevadas de evapotranspiración, resultan en un menor rendimiento hídrico. En contraste, las subcuencas de la llanura costera, donde predominan las áreas de pastizales y cultivos agrícolas, presentan los niveles más bajos de rendimiento hídrico y recarga local, atribuibles a los altos niveles de evapotranspiración potencial y temperatura (Fig, 21).

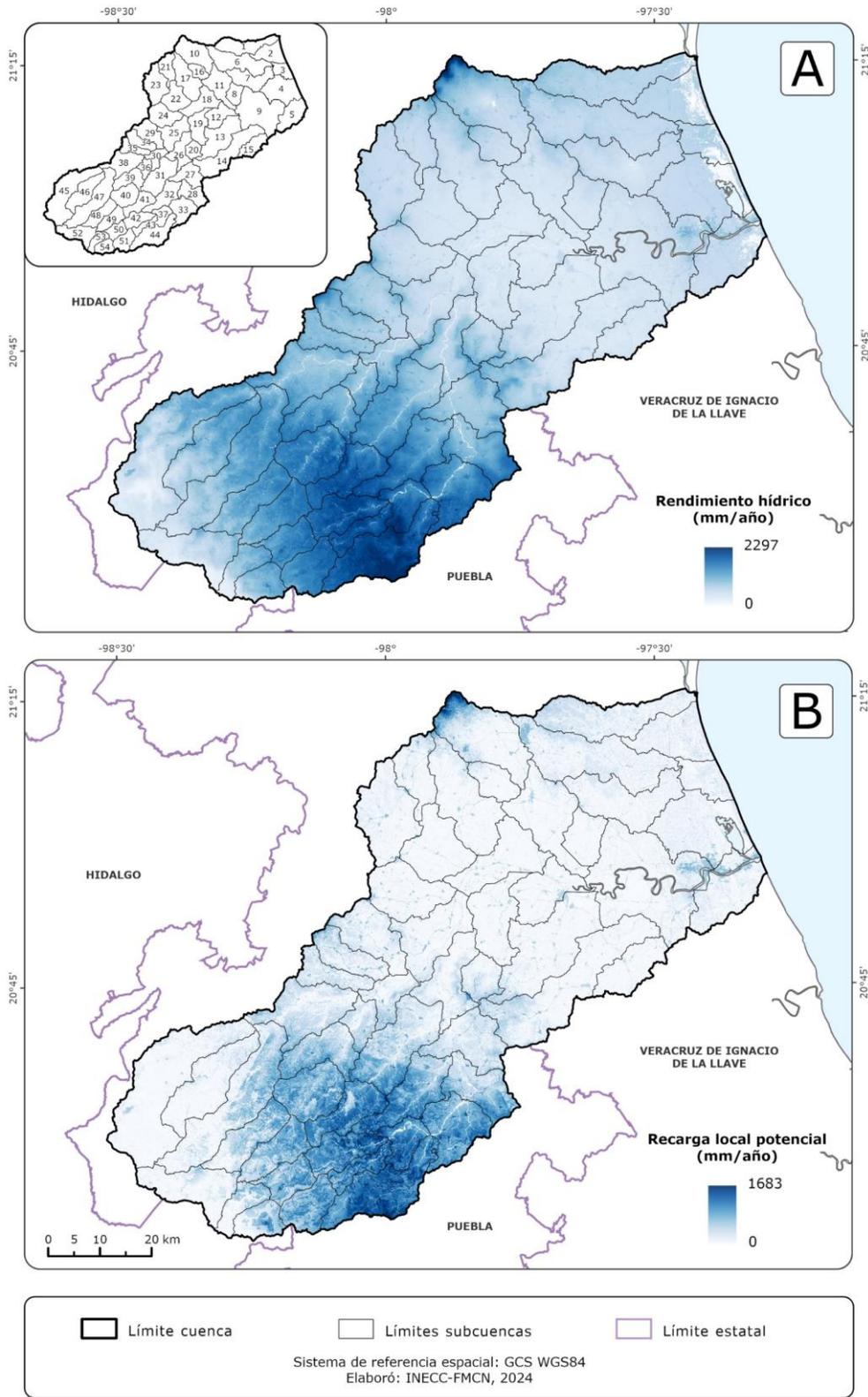


Fig. 21. Mapa de línea base del A) rendimiento hídrico anual y B) la recarga local en la cuenca del Río Tuxpan.

4.2.2. 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.

La erosión hídrica es el tipo predominante de degradación del suelo en México, afectando aproximadamente al 76% del territorio, con un 39% clasificado entre moderada y extrema (Bolaños et al., 2016; Montes-León et al., 2011). Además, la erosión se intensifica debido a prácticas que promueven la pérdida de coberturas vegetales como el sobrepastoreo, las quemas para la preparación de tierras agrícolas, la minería, la deforestación y la expansión urbana no planificada (Castro Mendoza, 2013; Hamel et al., 2015). Esto, a su vez, ha impactado en la degradación de las coberturas vegetales, la pérdida de la biodiversidad, la desestabilización de laderas y los 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 son potencialmente exportadoras de sedimentos. Por lo tanto, los resultados del modelo representan el promedio anual de producción de sedimentos por subcuenca, con base en algoritmos que, primero calculan la cantidad de pérdida de suelo a nivel de píxel y, posteriormente, la tasa de retención de sedimentos del valor de ese píxel en su tránsito hacia la red fluvial (Borselli et al., 2008).

La cantidad de pérdida de suelo anual ($usle$) (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 2):

$$(2) \quad usle_x = (R * K * LS * C * P)_x$$

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 (ANEXO 2).

En la cuenca del RT, se estimó un transporte anual promedio de sedimentos de 71.02 ton/ha, que potencialmente pueden llegar a los cuerpos de agua. Las tasas más elevadas de transporte de sedimentos se concentran en las subcuencas de Zacualpan, San Bartolo Tutotepec, San Juan de las Flores, Buena Vista y Xuchitlán (>250 ton/ha al año). Estas subcuencas se caracterizan por presentar grandes altitudes, pendientes pronunciadas y altos volúmenes de precipitación. Aunque predominan las coberturas de bosques y selvas, estas áreas se encuentran fragmentadas por la expansión de pastizales y zonas agrícolas destinadas principalmente al cultivo de maíz (Fig.22).

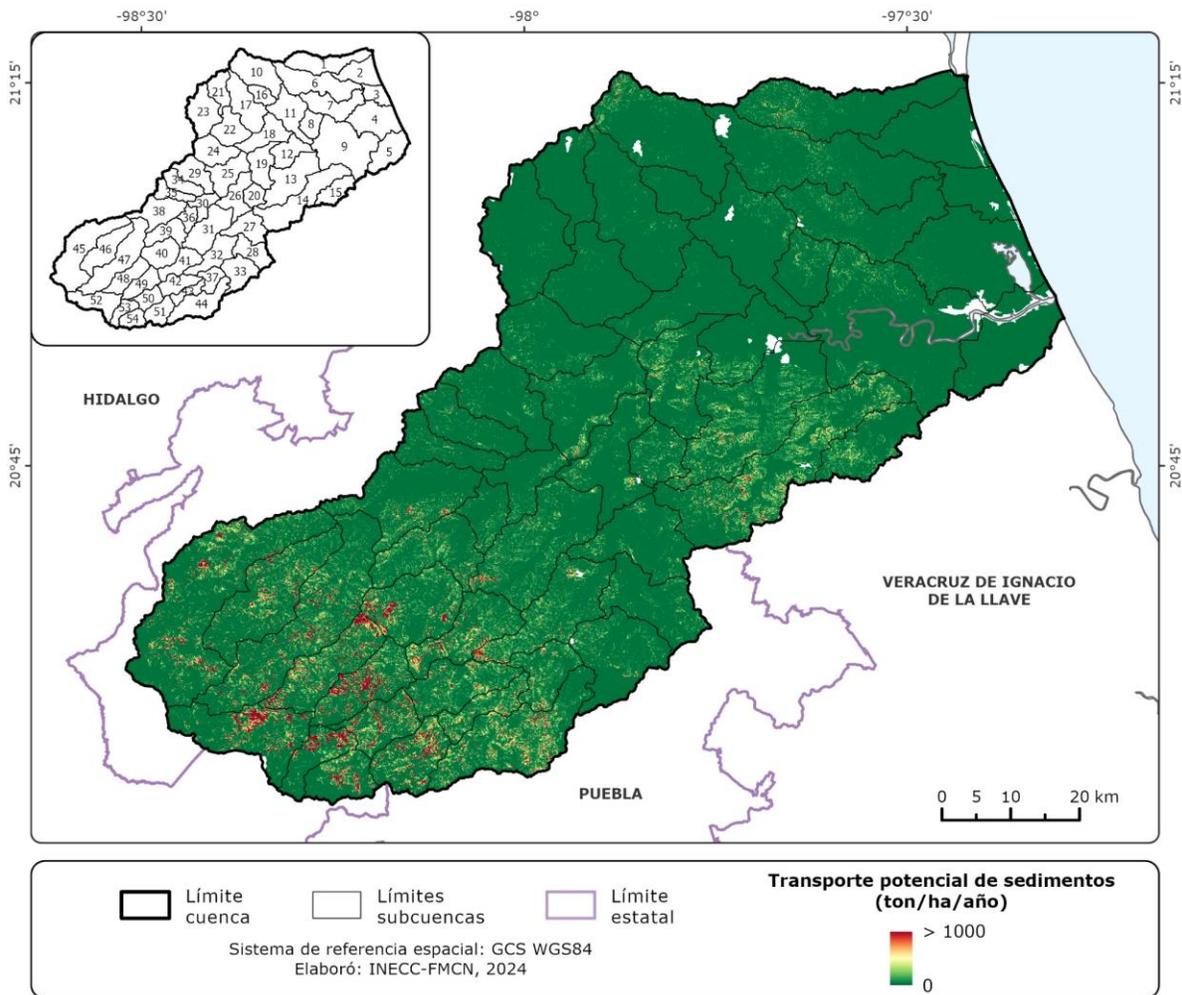


Fig. 22. Mapa de línea base del transporte de sedimentos (ton/ha/año) en la cuenca del Río Tuxpan.

4.3.3. Transporte 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 utilizó 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 Modelo Digital de Elevación (MDE), el mapa ráster de flujo rápido superficial derivado del modelo de rendimiento hídrico estacional (ANEXO 2). 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. Los valores asignados en esta tabla (cargas de N y P) se calcularon con base en la información recopilada a través de las entrevistas dirigidas a un total de 84 productores asentados en la cuenca del 28 de julio al 2 de agosto de 2024. 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 3):

$$(3) \quad \text{load}_n(\text{load}_p) = \frac{\text{Export from Land}}{1 - \text{Eff}_n(\text{Eff}_p)}$$

Export from Land = valor de exportación medido (o derivado empíricamente)
Eff_n/Eff_p = eficiencia de retención máxima para cada clase de USV.

Las cargas de nutrientes que no se pudieron calcular con la información derivada de las entrevistas, se obtuvieron 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 (Benez-Secanho and Dwivedi, 2019; Han et al., 2021; Hou et al., 2020; Wu et al., 2021).

Los resultados obtenidos para la cuenca del RT indican tasas promedio de transporte de nitrógeno (N) y fósforo (P) de 0.58 y 0.15 kg/ha por año, respectivamente. Las subcuencas de San Pablo El Grande, Papalocltipan, San Esteban, y San Antonio El Grande presentan las tasas más elevadas en el transporte de estos nutrientes, coincidiendo con áreas de uso agrícola y de pastizales en pendientes pronunciadas, donde predominan los cultivos de maíz, café y caña. Este último ha reportado una alta aplicación de fertilizantes químicos (Fig.23).

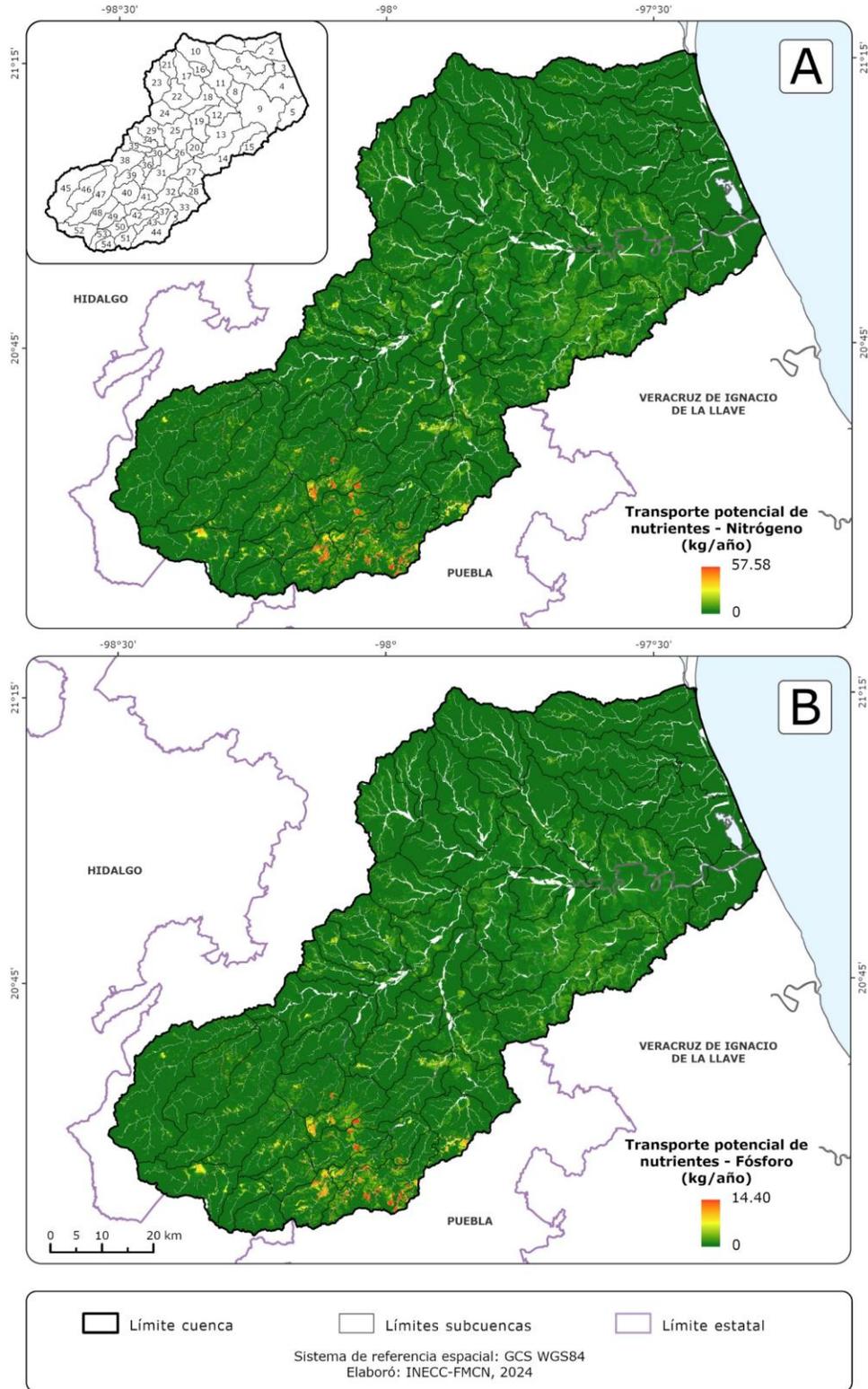


Fig. 23. Mapa de línea base del transporte de nutrientes de nitrógeno (A) y fósforo (B) (kg/año) en la cuenca del Río Tuxpan.

5. 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. No obstante, 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 las diferentes personas usuarias o beneficiarias distribuidas en las subcuencas se analizó considerando dos indicadores y, técnicas de geoprocetamiento que se describen en la Figura 24:

- 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 (REPGA) (CONAGUA, 2021b).
- 2) Densidad poblacional por subcuenca ($\text{habitantes}/\text{km}^2$). La delimitación de la población en cada una de las cuencas y subcuencas se llevó a cabo con base en el Marco Geoestadístico y el último censo de población y vivienda (INEGI, 2020). Este análisis incluyó 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). Las subcuencas con densidad poblacional de más de 105 habitantes/ km^2 tuvieron una mayor ponderación.

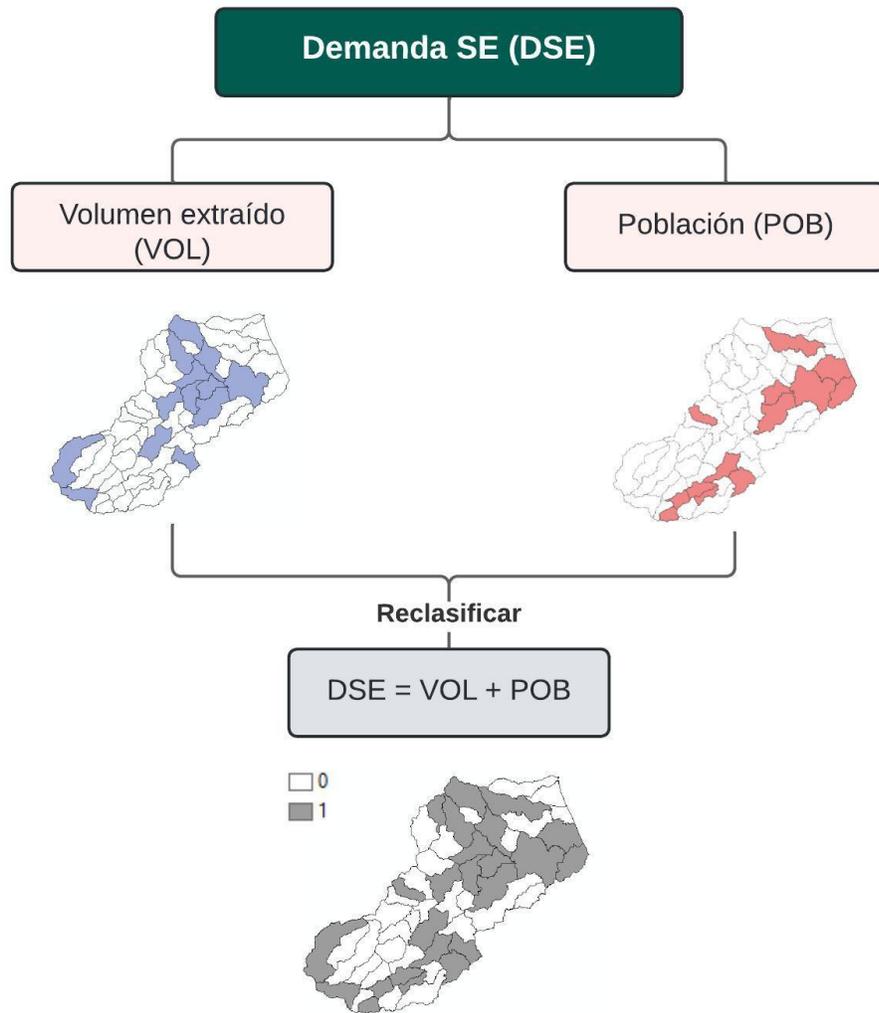


Fig. 24. Esquema de integración y análisis para la identificación de las subcuencas (resaltadas en color oscuro) con mayores volúmenes de extracción de agua y densidad poblacional.

5.1. Volúmenes de extracción de agua superficial y subterránea

De acuerdo con el Registro Público de Derechos del Agua (CONAGUA, 2021b) se registró un total de 65.78 hm³ de agua concesionada anualmente dentro de la cuenca RT, de los cuales el 59.49% corresponde a agua superficial. Las concesiones destinadas a usos público-urbano poseen el mayor número de registros (4,901 títulos), los cuales concentran un volumen de aproximadamente de 36.34 hm³, mientras que, alrededor de 22.33 hm³ (185 títulos) se destinan a uso agrícola (Tabla 16, Fig. 25).

Tabla 16. Clasificación en los PAMIC de los usos y volúmenes descritos en el REPDA.

| Tipo de uso | 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 | | | |

| Uso que ampara la concesión o asignación | Volumen concesionado o asignado (hm ³) | | Número de concesiones o asignaciones | |
|--|--|--------------|--------------------------------------|--------------|
| | Superficial | Subterráneo | Superficial | Subterránea |
| Acuicultura | 3.605 | 0 | 10 | 0 |
| Agrícola | 18.145 | 4.181 | 131 | 54 |
| Diferentes usos | 1.773 | 0.834 | 26 | 9 |
| Doméstico | 0.001 | 0.020 | 1 | 2 |
| Industrial | 0.026 | 0.290 | 7 | 5 |
| Pecuario | 0.317 | 0.007 | 180 | 14 |
| Público-urbano | 15.230 | 21.105 | 951 | 3,950 |
| Servicios | 0.035 | 0.215 | 3 | 24 |
| Total | 39.131 | 26.65 | 1,309 | 4,058 |

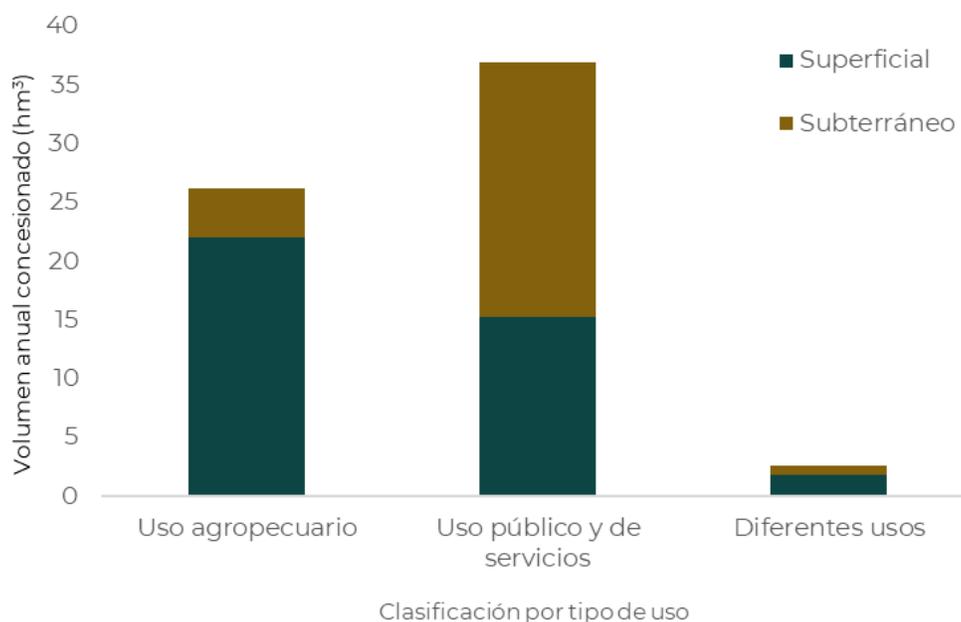


Fig. 25. Volúmenes anuales de agua concesionada o asignada en la cuenca del Río Tuxpan.

5.1.1. Demanda de agua superficial

Las fuentes de abastecimiento de concesiones y asignaciones de agua superficial provienen principalmente de arroyos (164), manantiales (997) y ríos (25). El río con el mayor número de títulos registrados corresponde al Pantepec, cuyo cauce se encuentra próximo a la localidad del mismo nombre. Sin embargo, el cauce con el mayor volumen concesionado es el Río Buenavista, seguido por el Río Pantepec con 6.36 y 4.96 hm³ respectivamente. La mayoría de los títulos registrados se distribuyen en la parte alta y media de la cuenca y se destinan principalmente al uso público y de servicios, aunque el recurso destinado al uso agropecuario posee un mayor volumen concesionado (Tabla 17). Por ejemplo, una concesión registra un volumen de 1.24 hm³ a usos agrícolas vinculados con la producción de cítricos (Fig. 26).

Tabla 17. Volúmenes de extracción y porcentaje del número de concesiones y asignaciones por tipo de uso del agua superficial en la cuenca del Río Tuxpan.

| Clasificación | Número de concesiones | Volumen (hm ³) | Porcentaje (%) |
|------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------|
| Uso agropecuario | 321 | 22.07 | 56.39 |
| Uso público y de servicios | 962 | 15.29 | 39.08 |
| Diferentes usos ¹ | 26 | 1.77 | 4.53 |
| Total | 1,309 | 39.13 | 100% |

¹Diferentes usos: se refiere a la utilización de agua nacional aprovechada en más de uno de los usos definidos tanto en la Ley como en el Reglamento, exceptuando el uso para conservación ecológica.

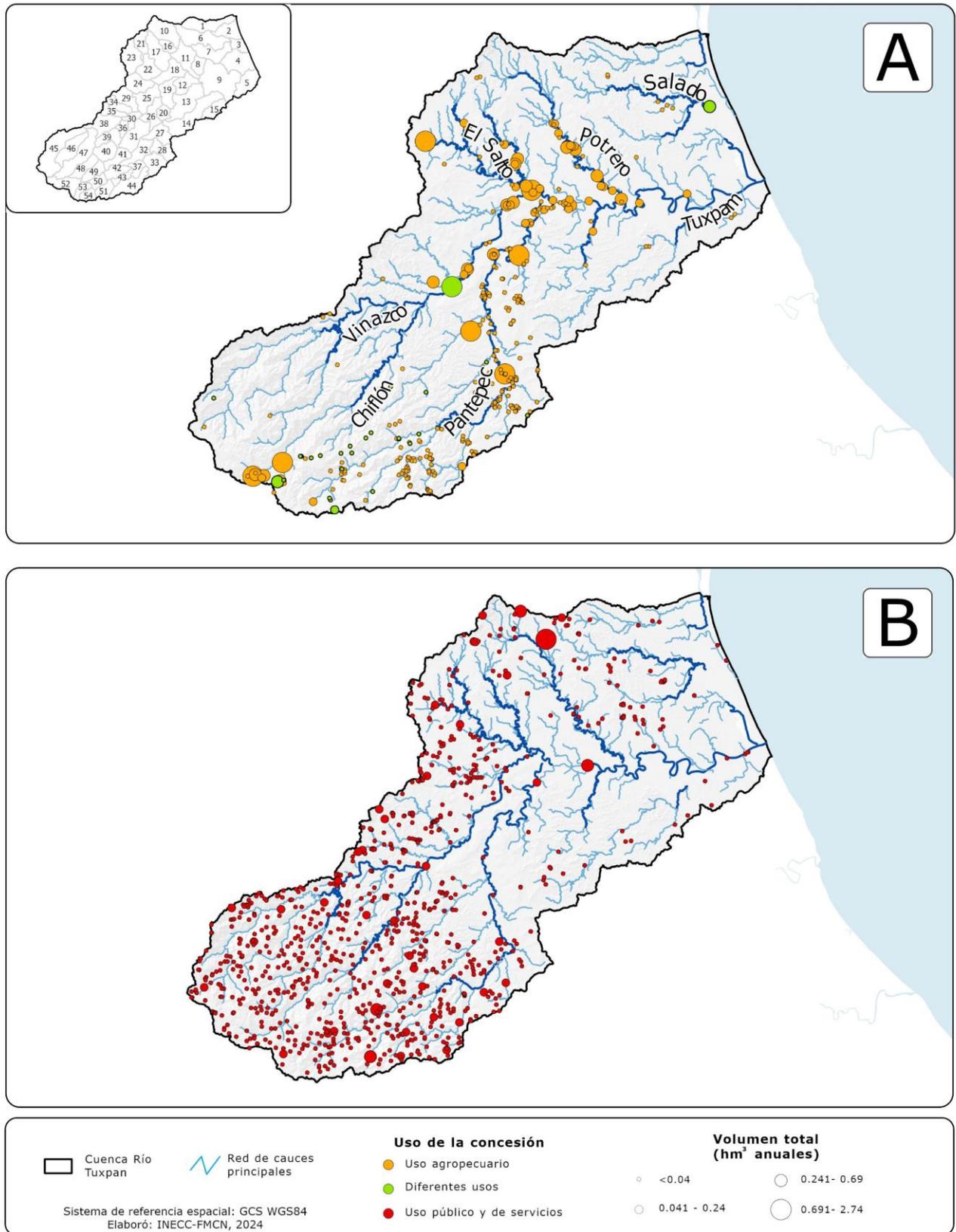


Fig. 26. Mapa de localización y volumen (hm³/año) de las concesiones y asignaciones de agua superficial en la cuenca del Río Tuxpan.

5.1.2. Demanda de agua subterránea

La cuenca del RT abarcan cuatro acuíferos que forman parte de las Regiones Hidrológico-Administrativas IX Golfo Norte y X Golfo Centro, los cuales a su vez pertenecen a la Región Hidrológica Río Pánuco y Ríos Tuxpan al Jamapa. De acuerdo con la CONAGUA (2021b) estos acuíferos aún reportan disponibilidad de agua (Tabla 18).

La Fig. 27 muestra la distribución de las concesiones y asignaciones de agua subterránea dentro de la cuenca. Las concesiones destinadas a usos agropecuarios (68 concesiones, 4.19 hm³) se concentran en la zona baja de la cuenca, entre Tepetzintla y Temapache. Mientras que las asignaciones para abastecimiento público-urbano (3981 títulos, 21.63 hm³) se ubican mayormente en la cuencas media y baja, especialmente entre los asentamientos de Temapache y Tuxpan.

Tabla 18. Descripción de los acuíferos ubicados dentro de los límites de la cuenca del Río Tuxpan (CONAGUA, 2024).

| Clave | Acuífero | Área (km ²) | Porcentaje de la cuenca (%) | Recarga total / disponibilidad (hm ³ /año) | Disponibilidad ¹ |
|-------|------------------|-------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|
| 1314 | Metztitlán | 1,107.25 | 0.24 | 701 / 697.53 | Positiva |
| 3001 | Poza Rica | 2,779.6 | 0.61 | 1,224.50 / 58.83 | Positiva |
| 3014 | Álamo-Tuxpan | 6,389.86 | 88.27 | 1,344.60 / 227.61 | Positiva |
| 3017 | Tampico-Misantla | 14,192.1 | 10.85 | 2,037.50 / 303.35 | Positiva |

¹ Condición de los acuíferos con base en la disponibilidad media anual (hm³/año). Disponibilidad negativa= sobreexplotado. Disponibilidad positiva: subexplotado. Fecha de publicación en DOF: 09-11-2023.

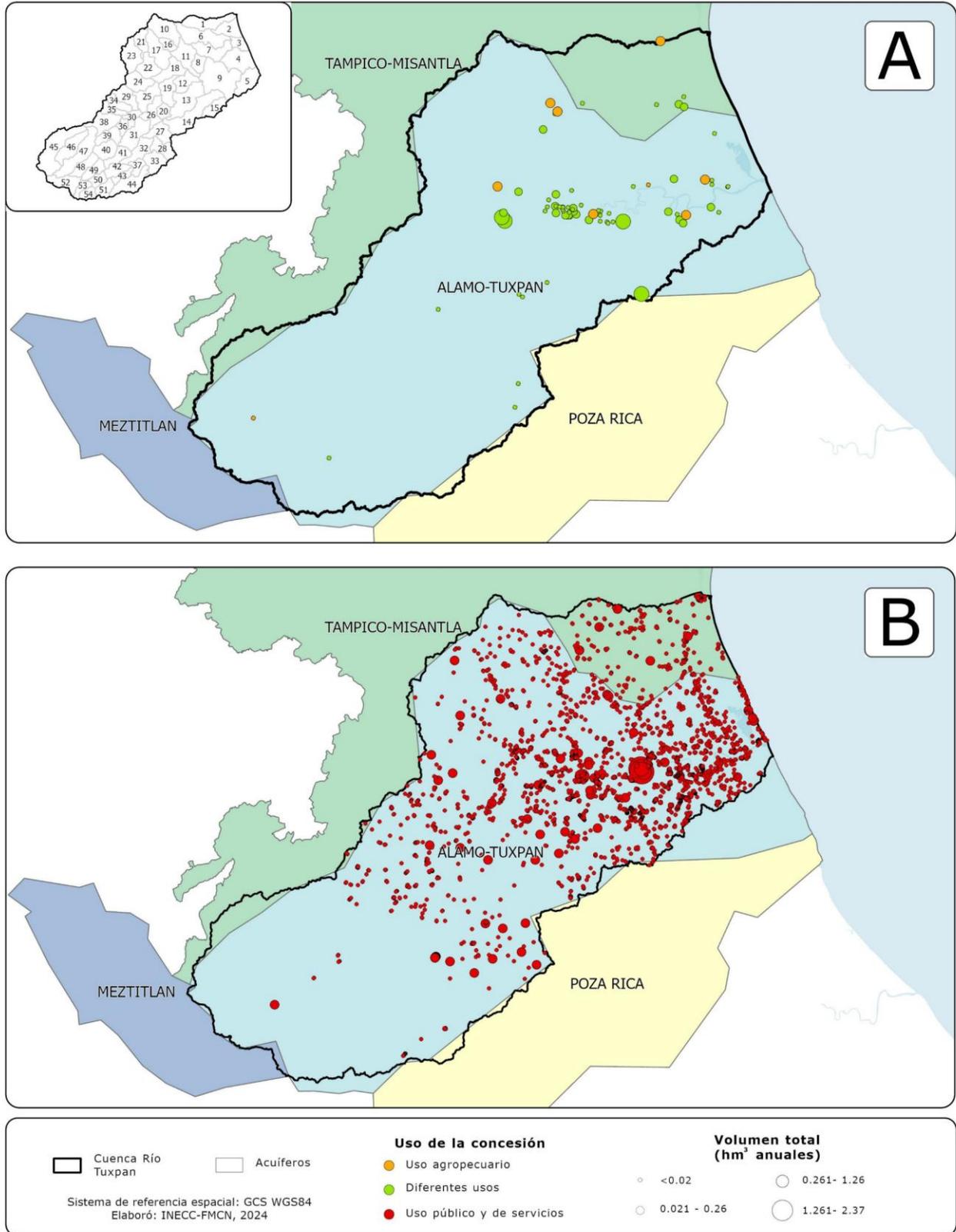


Fig. 27. Mapa de localización de acuíferos y volumen (hm³/año) de las concesiones y asignaciones de agua subterránea en la cuenca del Río Tuxpan (CONAGUA, 2024, 2021b).

6. Conectividad hidrográfica

La conectividad hidrográfica se refiere a la vinculación entre las subcuencas en función de la red de flujos superficiales. Las subcuencas se clasificaron en tres categorías, con base en el MDE y el mapa de esorrentía superficial de flujo rápido, generado a partir de la modelación del rendimiento hídrico estacional (InVEST) (Fig. 28):

- 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.

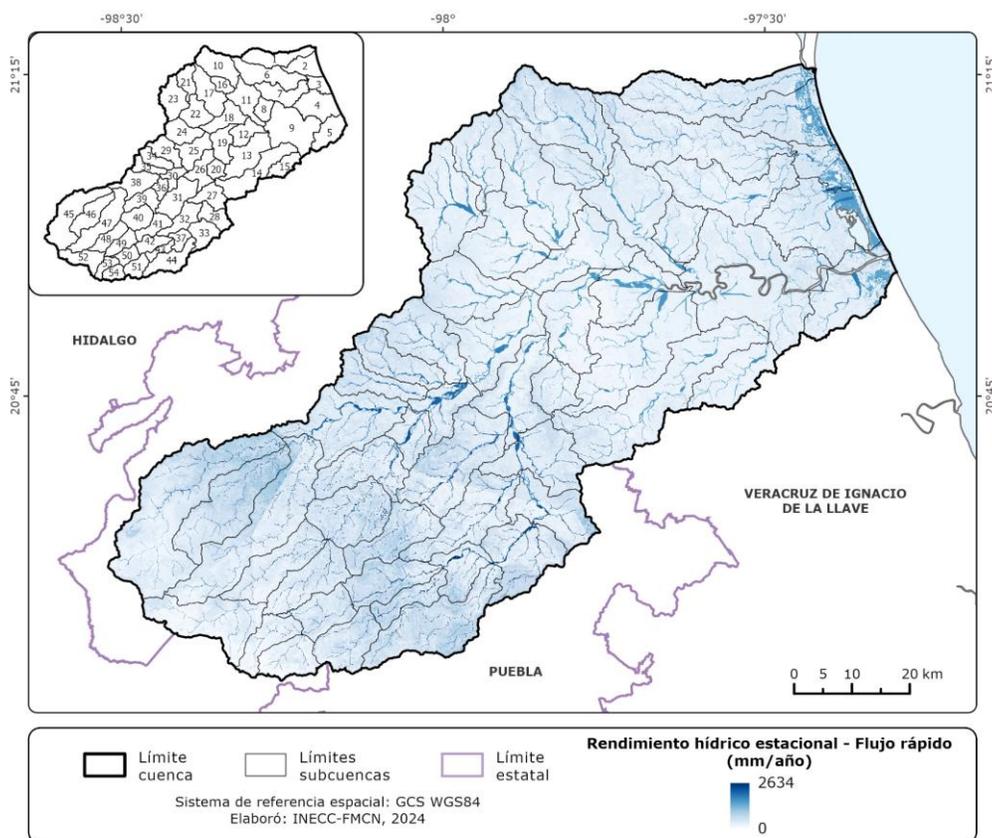


Fig. 28. Mapa de esorrentía superficial de flujo rápido (InVEST, 2024) en la cuenca del Río Tuxpan.

Finalmente, se identificaron las subcuencas con mayor conectividad (grado + intermediación) con base en un análisis de redes que se llevó a cabo con el programa de cómputo UCINET 6 (Borgatti et al., 2002) (Fig. 29).

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

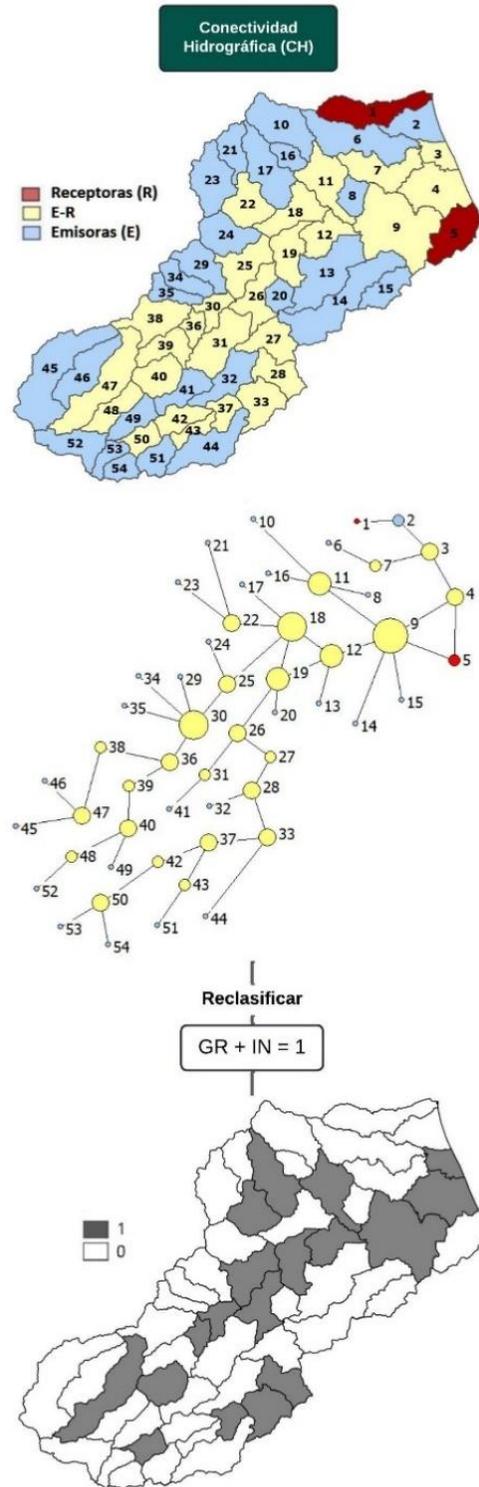


Fig. 29. Esquema de integración y análisis para la identificación de subcuencas (resaltadas en color oscuro) con mayor conectividad. Los colores del gráfico de la red de nodos corresponden a la clasificación de subcuencas, mientras que el tamaño del nodo está en función de su grado (GR) e intermeditación (IN).

7. 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.

7.1. Escenarios de cambio climático

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.30).

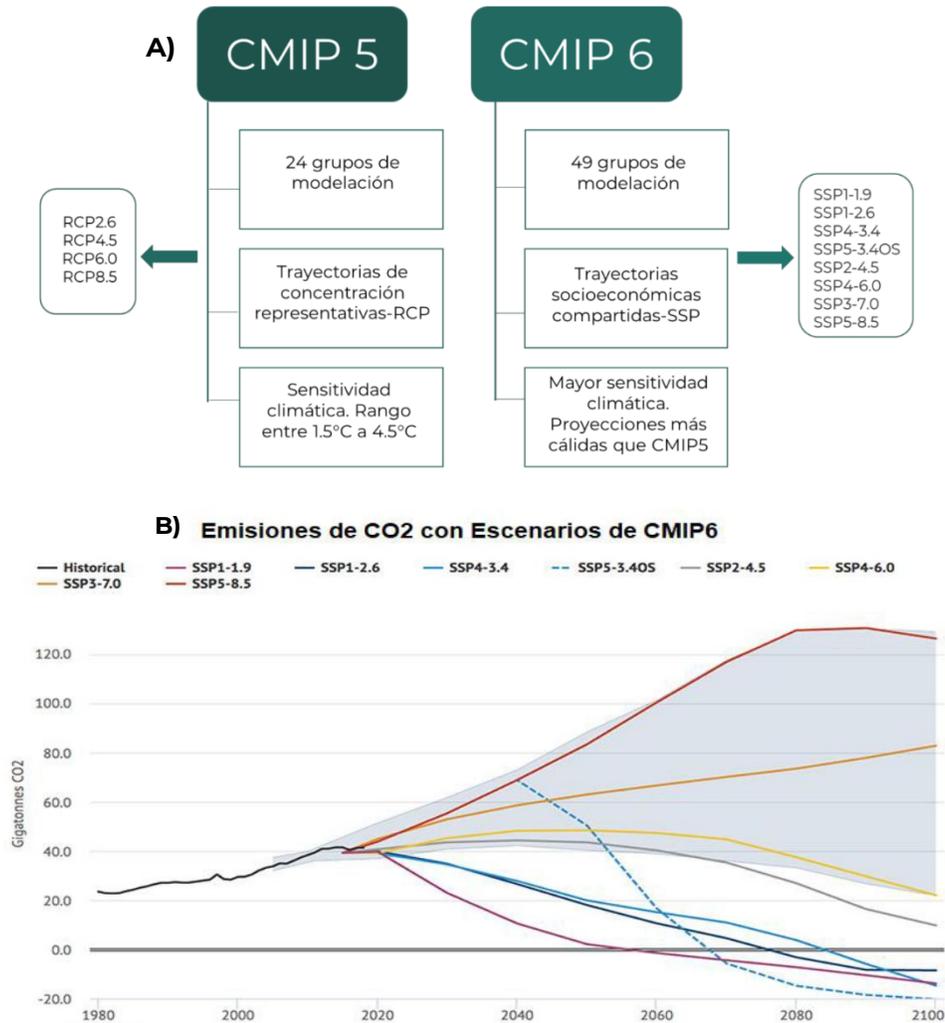


Fig. 30. Principales diferencias entre CMIP5 y CMIP6 (INECC, 2022). B) Escenarios futuros de emisiones de CO₂ descritos en CMIP6, incluyendo emisiones históricas de CO₂ (en color oscuro). El área sombreada representa el intervalo de escenarios de referencia sin políticas (Hausfather, 2019).

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 descargó y procesó a partir del Atlas Interactivo del IPCC, (2022b) y las bases de datos de UNIATMOS-UNAM, (2022) (Tabla 19).

Tabla 19. Comparación de los valores promedio de precipitación y temperatura media anual de la línea base y las proyecciones del escenario SSP5-8.5.

| Variable | Proyecciones | Mínimo | Máximo | Promedio |
|--------------------|--------------|--------|---------|----------|
| Precipitación (mm) | Línea base | 823.0 | 2,737.0 | 1,461.0 |
| | SSP5-8.5 | 824.3 | 2,702.0 | 1,444.6 |
| Temperatura (°C) | Línea base | 11.5 | 25.1 | 22.5 |
| | SSP5-8.5 | 13.6 | 27.1 | 24.5 |

7.2. Escenarios de usos de suelo y vegetación

Además de incorporar las proyecciones de cambio climático, la construcción de los escenarios se realizó de manera participativa, incorporando la información proporcionada por los participantes en los talleres. Las simulaciones de cambios en el uso del suelo y la vegetación (USV) se basaron en esta información, considerando los siguientes tres enfoques:

- 1) **Conservación:** se comparó el escenario de línea base, que incluye las áreas actuales con vegetación natural (bosques, selvas y manglares) y las áreas naturales protegidas (ANP), con un escenario de degradación. Este análisis se realizó para evaluar los impactos potenciales en los SE asociados con la pérdida o deterioro de zonas que actualmente se encuentran en buen estado de conservación.

El escenario de conservación para la cuenca del RT simuló:

- a) Aumento de las zonas urbanas con base en las tendencias históricas (comparación de los mapas de USV de las series III y VII, (INEGI, 2018, 2002)
 - b) Expansión de la frontera agrícola y pecuaria: Se modeló a partir de las tendencias de disminución de las coberturas forestales registradas entre 2000 y 2023 (Hansen et al., 2013), así como de la conversión de vegetación a pastizales en áreas afectadas por incendios forestales (IDEFOR, 2023).
 - c) Disminución de la superficie del manglar y conversión a suelo desnudo en zonas identificadas con problemas de azolvamiento en los ríos Miquetla, El Lindero, El Salto, Pantepec, Buenavista y Tuxpan, identificados en el primer taller participativo para la elaboración del PAMIC.
- 2) **Restauración:** se comparó el escenario de línea base con un escenario donde se implementan acciones de restauración o reforestación para evaluar los posibles impactos en los SE asociados con el incremento de la vegetación.

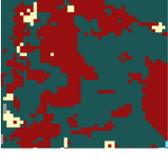
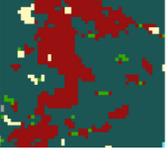
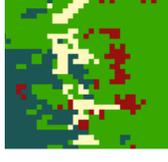
El escenario de restauración para la cuenca del RT simuló:

- a) Aumento de las zonas urbanas a una menor tasa de crecimiento asociado a la implementación de instrumentos de planeación territorial (INEGI, 2018, 2002).

- 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), incluyendo la preservación de las zonas registradas en el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA, CONAFOR, 2023).
 - c) Aumento de la zona de manglar y establecimiento de franjas de vegetación (60 m) en zonas identificadas de los ríos Grande, Viñazco, El Salto, Pantepec, Buenavista, La Virgen y Tuxpan durante el segundo taller participativo para la elaboración del PAMIC, incluyendo la preservación de las zonas registradas en el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA, CONAFOR, 2023).
- 3) **Adecuación de prácticas productivas:** Se comparó el escenario de línea base con un escenario que incorpora prácticas orientadas a fortalecer la producción sostenible, para evaluar sus posibles efectos sobre los SE. En este contexto, el escenario de adecuación de prácticas para la cuenca del RT simuló:
- a) Aumento de las zonas urbanas a una menor tasa de crecimiento asociado a la implementación de instrumentos de planeación territorial (INEGI, 2018, 2002).
 - 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 del factor P en la tabla biofísica que se requiere para el módulo de pérdida potencial de suelos (InVEST). Este factor hace referencia a la aplicación de prácticas de conservación de suelos como terrazas, cultivos de ladera y surcado (Loredo-Osti et al., 2007).
 - d) Disminución de las cargas de nutrientes (N y P) asociadas a la aplicación de fertilizantes descritos en las entrevistas con personas productoras.
 - e) Aumento de la zona de manglar y establecimiento de franjas de vegetación (60 m) en zonas identificadas de los ríos Grande, Viñazco, El Salto, Pantepec, Buenavista, La Virgen y Tuxpan, incluyendo la preservación de las zonas registradas en el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA, CONAFOR, 2023a).

La Tabla 20 resume las simulaciones consideradas para cada uno de los enfoques de los PAMIC. La construcción de escenarios y el geoprocésamiento 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, 2024).

Tabla 20. 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 Río Tuxpan.

| Línea base | Conservación | Restauración | Adecuación de prácticas |
|--|---|---|---|
| <p>Zona urbana</p>   | <p>Aumento con base en las tendencias históricas (INEGI, 2002, 2018).</p>  | <p>Aumento a menor tasa de crecimiento simulando la implementación de instrumentos de planeación territorial (INEGI, 2002, 2018).</p>  | <p>Aumento a menor tasa de crecimiento simulando la implementación de instrumentos de planeación territorial (INEGI, 2002, 2018).</p>  |
| <p>Pastizales</p>   | <p>Conversión de uso de suelo y vegetación en polígonos identificados con impacto por incendios forestales (IDEFOR, 2023) y aumento con base en la pérdida forestal (Hansen, 2013).</p>  | <p>Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales (Hansen, 2013).</p>  | <p>Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales (Hansen, 2013) y simulación de prácticas de conservación de suelo (modificación del factor P).</p>  |
| <p>Cultivos agrícolas</p>   | <p>Expansión de la frontera agrícola (INEGI, 2002, 2018).</p>  | <p>Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales (Hansen, 2013).</p>  | <p>Disminución con base en las tendencias de ganancias forestales (Hansen, 2013) y simulación de prácticas agroecológicas (disminución en la cantidad de nutrientes asociados a fertilizantes).</p>  |
| <p>Manglares</p>   | <p>Disminución del manglar y conversión a suelo desnudo en zonas identificadas con problemas de azolvamiento (Primer Taller PAMIC, 2024)</p>  | <p>Reforestación del manglar y establecimiento de franjas de vegetación (60m), incluyendo los polígonos registrados en el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA, CONAFOR, 2023).</p>  | <p>Reforestación del manglar y establecimiento de franjas de vegetación (60m), incluyendo los polígonos registrados en el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA, CONAFOR, 2023).</p>  |

8. Proceso de integración para la priorización territorial y focalización de intervenciones

La incertidumbre se refiere a la aleatoriedad o el error proveniente de información desconocida o de diferentes variables aproximadas. Esta incertidumbre también está asociada a 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%).

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 determinaron con base en análisis estadísticos (nivel de significancia= 5%) aplicados a 50,000 puntos distribuidos en toda la cuenca de manera aleatoria, para finalmente ponderar las subcuencas con diferencias significativas. Todo el proceso estadístico y geoespacial se llevó a cabo con el uso de ArcGIS Pro (ESRI, 2024) y el software R (R Core Team, 2024) ([código](#) ). La descripción detallada del análisis estadístico se puede consultar en la guía metodológica.

La integración de los resultados descritos en los pasos anteriores permite la identificación de subcuencas prioritarias para promover acciones de conservación (Fig. 31), restauración (Fig. 32) y adecuación de prácticas productivas (Fig. 33). Esta información es la base 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 cada uno de los enfoques.

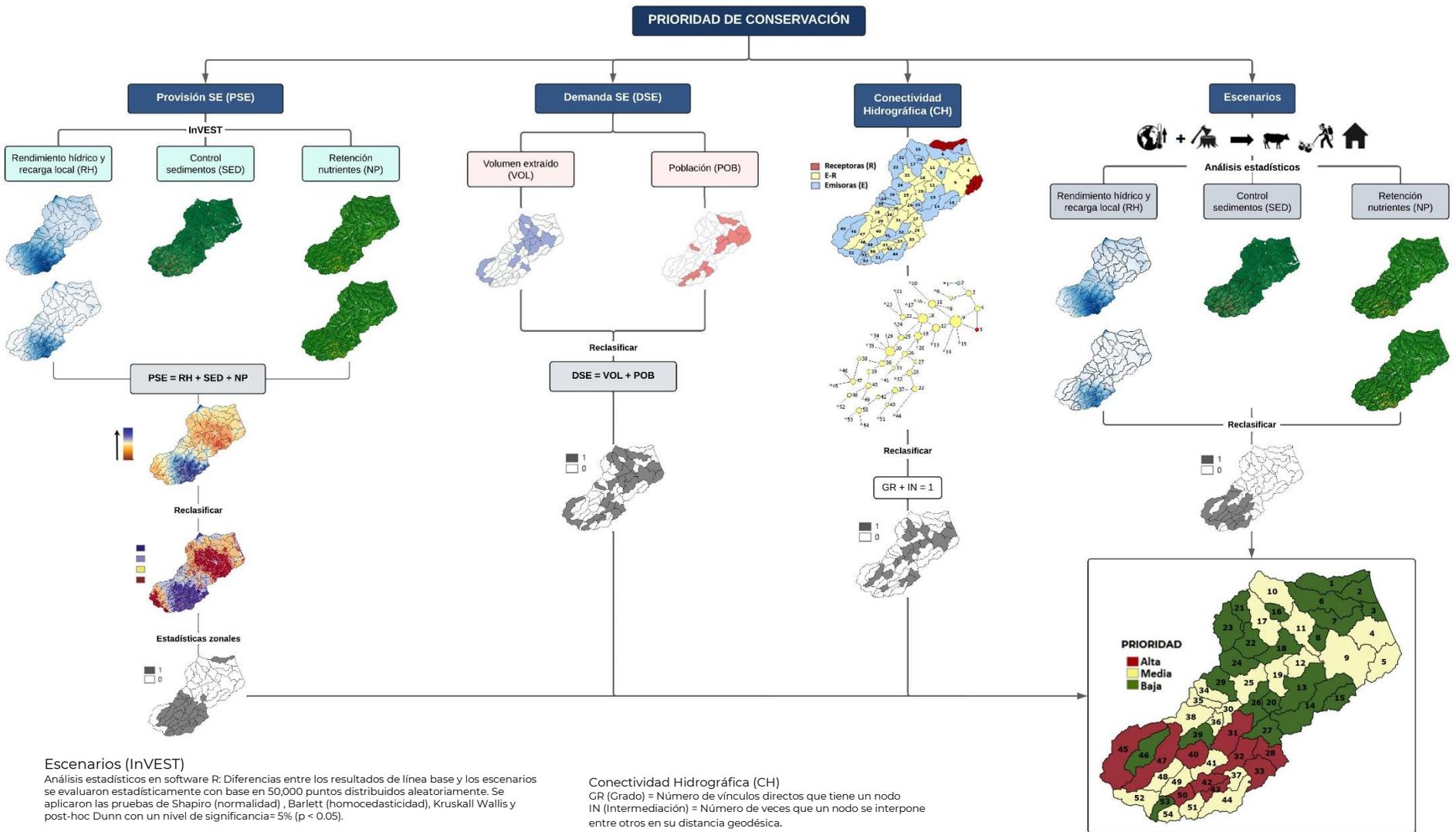


Fig. 31. Esquema de integración y análisis para la priorización territorial: identificación de subcuencas prioritarias para la implementación de acciones de conservación en la cuenca del Río Tuxpan.

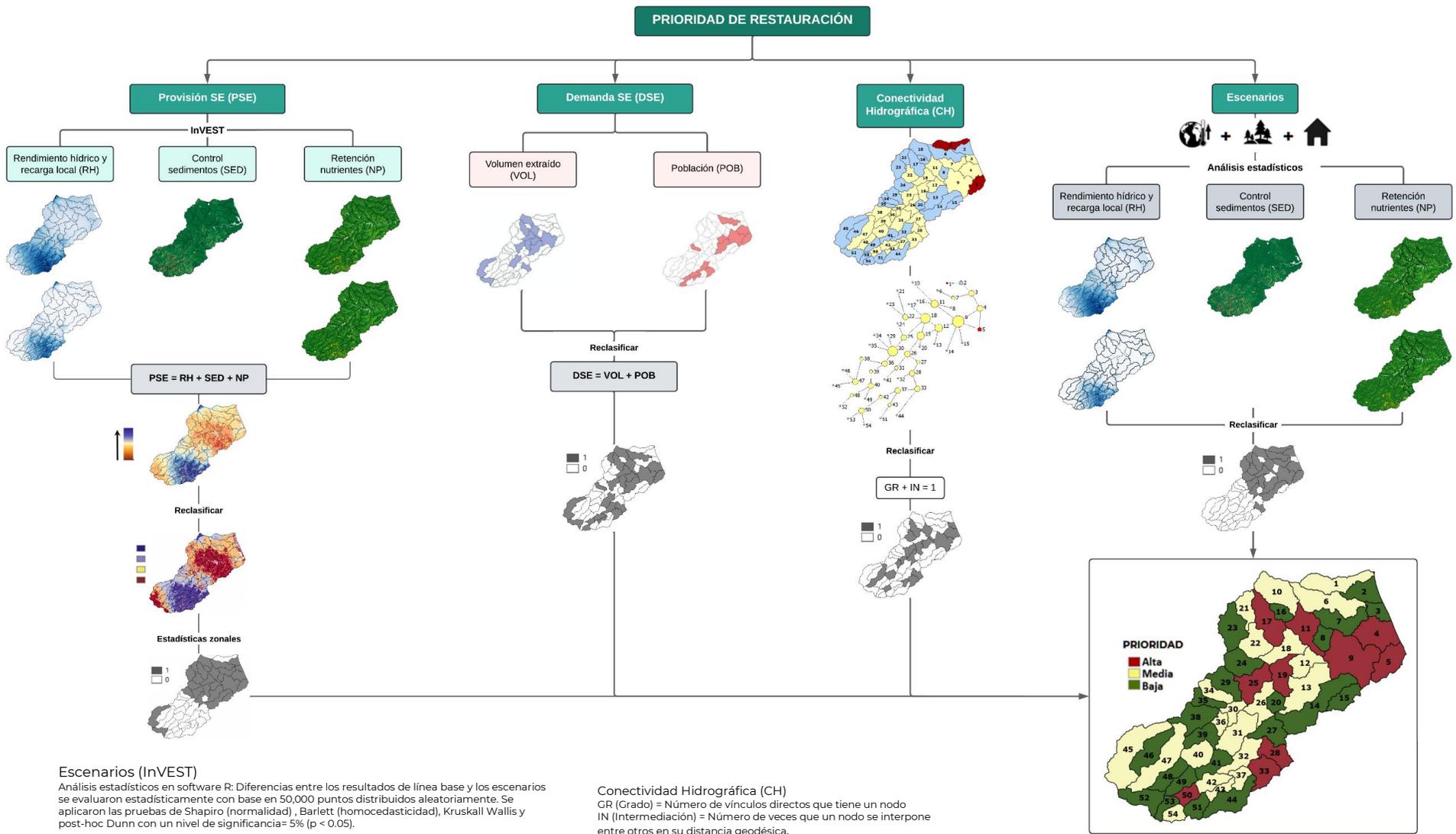


Fig. 32. Esquema de integración y análisis para la priorización territorial: identificación de subcuencas prioritarias para la implementación de acciones de restauración o rehabilitación en la cuenca del Río Tuxpan.

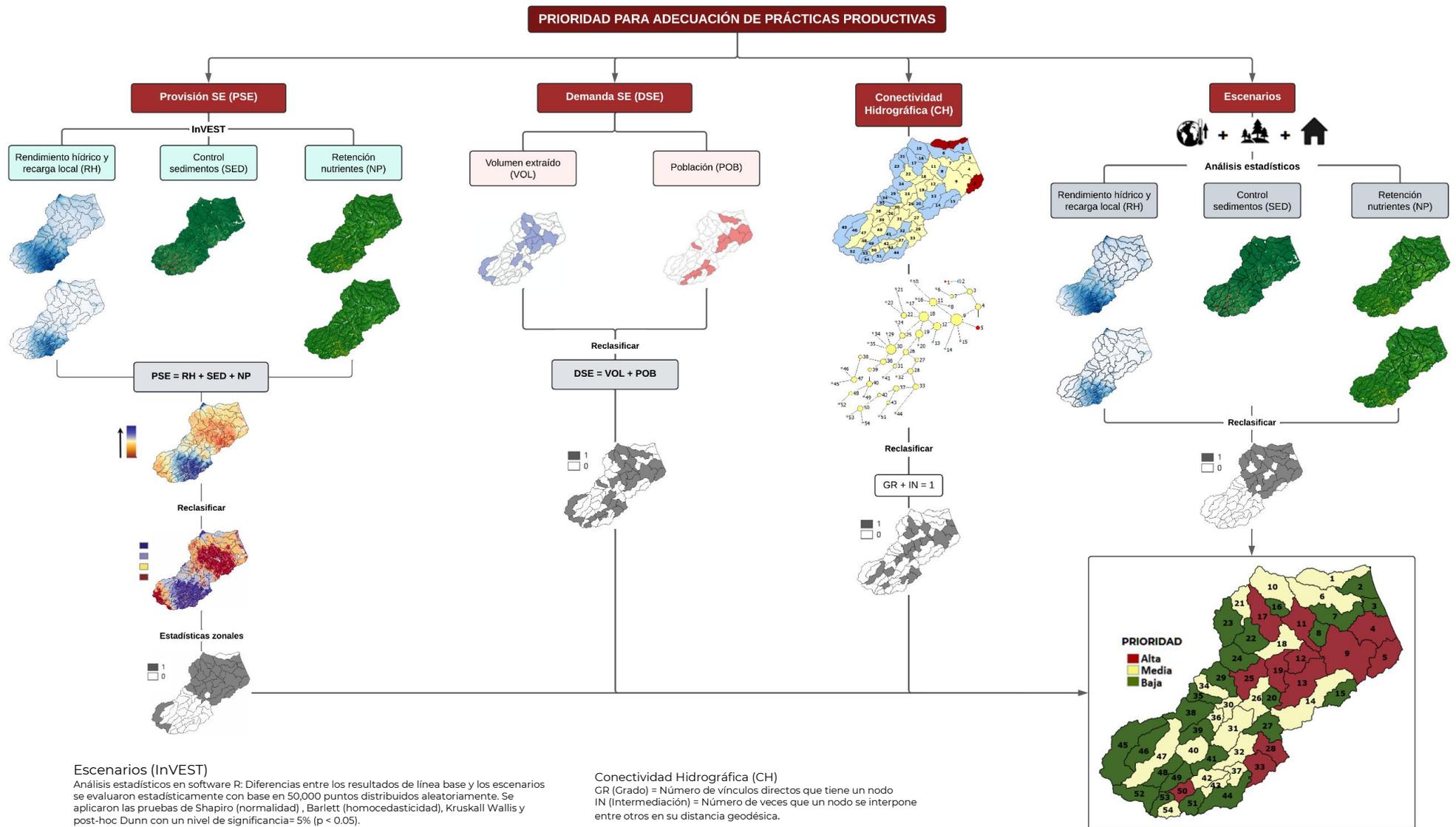


Fig. 33. Esquema de integración y análisis para la priorización territorial: identificación de subcuencas prioritarias para la implementación de acciones de restauración o rehabilitación en la cuenca del Río Tuxpan.

Agenda ambiental

La agenda ambiental de los PAMIC está encaminada a promover la corresponsabilidad territorial en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, a través de la vinculación entre las características socio-ecológicas, los instrumentos o programas de gestión y la identificación espacial de sitios prioritarios. La construcción de este marco estratégico es fundamental para coordinar acciones entre diferentes actores y sectores involucrados en la gestión de la cuenca del Río Tuxpan.



9. Agenda ambiental

Los PAMIC son instrumentos que identifican y analizan las características socio-ecológicas e interconexiones entre las subcuencas, con base en la relación de la oferta-demanda de SE que son fundamentales para el bienestar humano y el manejo integral de los recursos hídricos, como la cantidad y calidad de agua relacionada con la disponibilidad superficial y subterránea, el transporte de nutrientes, la regulación de flujos y el control de la erosión hídrica (FAO, 2016).

Un 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 pueden 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 este último apartado 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. 34):

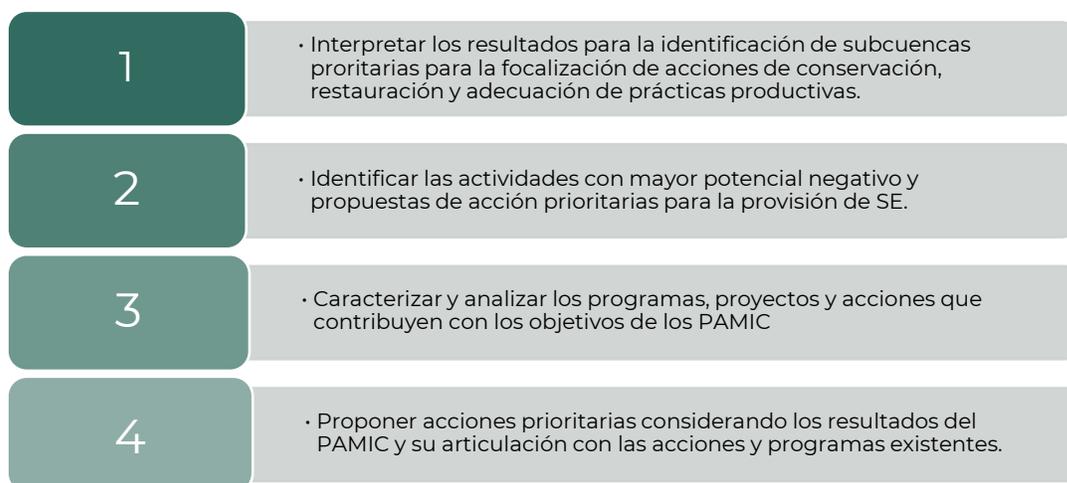


Fig. 34. Esquema metodológico para la construcción de la agenda ambiental de los PAMIC.

9.1. Actividades o eventos con mayor impacto potencial en la provisión y mantenimiento de los servicios ecosistémicos (SE) con perspectiva de género.

El proceso de planeación e implementación del componente participativo en la elaboración del PAMIC de la cuenca del RT tiene como objetivo integrar la visión territorial de las personas que residen en las cuencas, incorporando una perspectiva de género. Este componente representa un espacio que facilita la comunicación entre actores clave para conocer sus perspectivas relacionadas con los objetivos y el proceso de elaboración de los PAMIC, con la finalidad de promover la apropiación, seguimiento e implementación de esta herramienta, desde el inicio de su diseño y hasta su implementación. Con este objetivo, la elaboración del PAMIC de la cuenca RT incorpora la visión territorial de las comunidades, personas propietarias y otros actores clave a partir de los resultados de dos talleres participativos y entrevistas dirigidas a personas productoras que desarrollan actividades agrícolas y pecuarias en el territorio (ANEXO 5).

El primer taller se llevó a cabo el 13 de junio de 2024 en Tuxpan, Veracruz. El taller contó con la participación de 33 personas (13 mujeres y 20 hombres) representantes de Organizaciones Locales Legalmente Constituidas (OLLC) o personal técnico involucrado en proyectos de incidencia en la cuenca del RT (Agroproductores Forestales de Zacualpan SPR de RL; AMECORENA A.C.; Ayuntamiento Municipal de Citlaltépetl; Brigada de Educación para el Desarrollo Rural No. 18; Centro de Estudios Socioeconómicos para el Desarrollo Social A.C.; Centro de Estudios tecnológicos del Mar No. 20; Centro Ecoturístico Tlenkuali; CESADESH A.C.; CONANP-Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan y Santuario Playas del Totonacapan; Fundación Pedro y Elena Hernández A.C.; Igualdad y Equidad para los Pueblos de México; Instituto Tecnológico Superior De Álamo Temapache; Municipio de Álamo; Municipio de Tuxpan; Red OSC; Sembrando Vida; Universidad Veracruzana).

El objetivo del taller fue identificar las presiones (actividades o eventos) con impactos potenciales en el suministro de SE, considerando su temporalidad y alcance en la cuenca RT para la elaboración participativa y con enfoque de género del PAMIC.

Durante la caracterización de actividades y eventos con enfoque de género, surgieron reflexiones que revelan la complejidad y el dinamismo de las relaciones entre hombres y mujeres, así como la variabilidad en la división del trabajo en cada tarea y la diversidad de actores involucrados en el territorio. En términos generales, se analizaron aspectos como la división sexual del trabajo, el acceso a recursos, la toma de decisiones, los impactos potenciales de eventos extremos, y las habilidades y capacidades para enfrentarlos.

La caracterización con enfoque de género se basó en los conocimientos y experiencias de las personas participantes, por lo que los resultados no necesariamente representan el mismo escenario en la totalidad de la cuenca RT, debido a que las características de los vínculos entre el género y el

ambiente pueden variar de acuerdo con el contexto sociocultural. No obstante, las conclusiones y reflexiones derivadas de este ejercicio destacan la importancia de incorporar la perspectiva de género en las iniciativas de conservación, restauración y adecuación de prácticas para evitar la profundización de desigualdades preexistentes y promover un manejo más inclusivo, equitativo y sostenible de los recursos. Con ese propósito, el ANEXO 4 proporciona lineamientos generales y ejemplos de medidas para integrar la perspectiva de género en cada etapa de proyectos o iniciativas de restauración, conservación y adecuación de prácticas ganaderas y agroforestales.

En los siguientes apartados se describe de manera general y con perspectiva de género las principales actividades o eventos con impacto potencial en la provisión y mantenimiento de SE identificadas por las personas que participaron durante en el taller.

9.1.1. Ganadería y producción de carne bovina y lácteos

En la cuenca del RT, la actividad ganadera ha experimentado un notable crecimiento en más de la mitad de la región, lo que ha contribuido a la pérdida de cobertura forestal. Los municipios con mayor porcentaje de superficie ganadera dentro de la cuenca son Cerro Azul, Tancoco y Tepetzintla (INEGI, 2016). Durante el taller se mencionó que, en la cuenca alta, hay áreas dedicadas a la producción de carne para exportación a Hidalgo, mientras que entre la cuenca alta y media se identifican zonas de ganadería de doble propósito, con límites bien definidos para la distribución de carne de becerro. La cuenca baja se especializa en mejoramiento genético, producción de leche y carne destinada a otros estados. Además, en los alrededores de Álamo Temapache y Tuxpan se encuentran rastros y centros de acopio.

Mayoritariamente, tanto la producción de carne como la producción de leche que se generan en el estado de Veracruz son soportadas por el ganado manejado en las regiones tropicales húmedas, subhúmedas y secas del estado, donde predomina el sistema denominado de doble propósito (Salazar-Lizán et al., 2013). De acuerdo con el Padrón Ganadero Nacional (SADER, 2018), la mayoría de las Unidades de Producción Pecuaria (UPP) en la cuenca RT se encuentran en los municipios de Tlaxicoyan (3,065), Chicontepec (1,746), Tamiahua (1,455) y Tuxpan (1,433). La distribución del ganado bovino se realiza principalmente por libre pastoreo, pastoreo controlado y semiestabulado en menor proporción (INEGI, 2022b).

La ganadería en la cuenca RT enfrenta diversas problemáticas, siendo una de las principales el abastecimiento de agua para el ganado, agravado por los efectos del cambio climático y la sequía prolongada en toda la región. Para mitigar esta situación, se ha financiado la construcción de ollas de agua, especialmente en Chicontepec y Castillo de Teayo. En la Sierra de Otontepec, se han implementado sistemas silvopastoriles con el apoyo de instituciones como CONAFOR y el proyecto CONECTA, así como en parcelas manejadas por la Unión Ganadera del Norte. En la zona de Tuxpan,

la CONANP ha destinado recursos de PROCODES para fomentar proyectos silvopastoriles vinculados a humedales. Asimismo, el programa “Sembrando Vida” trabaja con pequeños ganaderos en la zona alta, así como con citricultores y ganaderos de la cuenca media y baja, promoviendo prácticas sustentables en la región.

La producción ganadera en la región refleja una marcada división del trabajo basada en el género. Según lo señalado durante el taller, los hombres son los principales responsables del manejo y cuidado del ganado, mientras que las mujeres participan en labores administrativas, así como en la elaboración y venta de productos derivados. El acceso a los recursos productivos y financieros también es diferenciado, ya que los hombres, al ser mayoritariamente los titulares de la tierra, gestionan la adquisición de insumos y créditos. Sin embargo, se observa un incremento en la participación femenina dentro de programas e iniciativas dirigidas al apoyo de las mujeres. En cuanto a la toma de decisiones, los hombres suelen asumir este rol en el ámbito doméstico, limitando la participación femenina a situaciones donde no hay una figura masculina. No obstante, a nivel empresarial y político-institucional, se percibe una mayor equidad de género en los procesos de decisión, sin embargo, se menciona que aún existen algunas brechas en sectores locales.

9.1.2. Descargas residuales y contaminación

De acuerdo con lo discutido durante el taller, se mencionó que las descargas residuales en la cuenca del río Tuxpan representan una problemática ambiental significativa, agravada por la descarga de diversas actividades industriales, turísticas y de infraestructura. Se ha reportado la presencia de descargas directas a los ríos, especialmente en el río Álamo. La falta de plantas tratadoras es un problema generalizado en casi todos los municipios, lo que ha llevado a la contaminación de cuerpos de agua principalmente en la zona baja de la cuenca. De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (CONAGUA, 2024) se registran 27 plantas de tratamiento en la cuenca del RT, siendo la planta Tuxpan la que cuenta con la mayor capacidad instalada con 220 l/s. El establecimiento y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales o lagunas de oxidación es muy restringido, en parte debido a la distribución altamente dispersa de las localidades rurales (INEGI, 2016b).

La contaminación por descargas residuales ha sido identificada como una de las principales causas de la pérdida de manglares y arrecifes en la zona costera de la cuenca. Las descargas no tratadas en las cuencas de los ríos Pánuco y Tuxpan representan una fuente significativa de contaminantes y sedimentos, que son transportados por los ríos y las corrientes marinas hasta los arrecifes. El incremento de sedimentos en las aguas costeras provoca un alto nivel de estrés en los ecosistemas, reduciendo la penetración de luz necesaria para la fotosíntesis y afectando la biodiversidad marina (CONANP, 2014).

En la zona de Chicontepec, la actividad petrolera y la presencia del gasoducto Tuxpan-Tula con destino al norte de Texas han generado preocupación debido a su impacto negativo sobre los mantos freáticos, los manglares y el desplazamiento de comunidades locales. El gasoducto transportaría 886 millones de pies cúbicos de gas desde EUA a lo largo de 263 kilómetros, afectando a 459 localidades de 34 municipios en Veracruz, Puebla, Hidalgo y Edomex (Sandoval-Vázquez, 2021). La principal preocupación de los habitantes de la zona es la contaminación de los ríos y los manantiales que se hallan en las zonas montañosas de la región.

En cuanto a la distribución de tareas relacionadas con el manejo de aguas residuales en la región de la cuenca RT, se observó que los hombres asumen un rol predominante en la toma de decisiones en cuanto a la gestión del agua a una escala comunitaria y municipal. Mientras que las mujeres son quienes enfrentan los desafíos del manejo del agua residual en los hogares, sin embargo, su rol en la toma de decisiones aún es escaso. Por lo general, las aguas residuales en los hogares son reusadas para el riego de huertos de traspatio o para lavar pisos o patios.

9.1.3. Uso de agroquímicos

En la cuenca del RT, la actividad agrícola se concentra principalmente en cultivos como: maíz, frijol, sorgo, café, naranja, mango, plátano, piña, limón agrio, mandarina, papaya, toronja y chile verde (INEGI, 2016b), que en conjunto ocupan aproximadamente 1,434.61 km², representando el 21.24% de la superficie total de la cuenca. Dentro de la región se desarrollan la agricultura convencional, cultivos de autoconsumo y, de manera predominante, la citricultura, lo que ha conllevado un incremento del uso de fertilizantes y plaguicidas. Los terrenos son utilizados durante dos o tres años para el cultivo, y luego dejarlo en descanso por un periodo de tiempo similar, estos ciclos de barbecho dan lugar a un paisaje en el cual se alternan los terrenos cultivados con la vegetación en diferentes etapas sucesiones (INEGI, 2016b).

En la cuenca alta, generalmente, los pequeños productores siembran maíz y frijol de temporal y de autoconsumo, aunque también cultivan haba, papa, trigo, cebada, cilantro y rábano, entre otras. En la cuenca media destaca la siembra de limón y naranja, cuyo crecimiento se atribuye en los últimos años por el abandono de la ganadería a consecuencia de las sequías, la cual solía ser la principal actividad productiva de la región. En cuanto a la cuenca baja, se siembra principalmente cítricos, así como maíz, vainilla, pipián y piña, sin embargo, predomina la ganadería de pastoreo extensiva.

Durante el taller, se mencionó que el empleo de agroquímicos se extiende por toda la cuenca, siendo que solo el 5% de estas actividades utiliza productos orgánicos. También se mencionó que el uso intensivo de herbicidas ha provocado el desplazamiento de especies nativas, en particular, en las zonas citrícolas, como Álamo, Tihuatlán y Chicontepec. Asimismo, se considera que la parte baja de la cuenca presenta la mayor concentración de agroquímicos, concentrándose especialmente en la

zona agrícola de Álamo, donde los principales cultivos son maíz, cítricos (limón y naranja) y pastos para ganado. En cultivos de autoconsumo, como el maíz en la cuenca media, se observa un uso intensivo de estos insumos, lo que ha derivado en un aumento de enfermedades asociadas al uso de fertilizantes. El uso de fertilizantes y agroquímicos representa un riesgo potencial de contaminación y deterioro de la calidad del agua, lo que afectaría al ambiente, a la salud de la población y a su vez a las actividades económicas que dependen del agua subterránea (DOF, 2016).

En cuanto al uso de agroquímicos, la aplicación es realizada mayoritariamente por hombres; sin embargo, durante el taller se destacó que, en menor medida, también participan mujeres, principalmente en la agricultura de traspatio. También se mencionó que las mujeres participan cada vez más en la aplicación de bioinsumos en la agricultura de traspatio, y se resaltaron los beneficios frente a los agroquímicos convencionales. No obstante, el acceso a los recursos financieros para la obtención de agroquímicos está ligado directamente con la tenencia de la tierra. En ese sentido, los hombres son quienes tienen mayor acceso a dichos recursos porque son quienes mayoritariamente son dueños de la tierra. Así mismo, los hombres productores y dueños de las tierras son quienes toman las decisiones entorno a la aplicación de agroquímicos en los cultivos. A nivel comunitario se comentó que dentro de las escuelas se ha incentivado la reducción del uso de agroquímicos en pláticas informativas con padres de familia. Finalmente, se comentó sobre la presencia de fenómenos como la migración de jóvenes y el abandono de parcelas, ha contribuido al aumento del uso de agroquímicos, debido a la falta de personas trabajando en el campo.

9.1.4. Extracción de agua

Dentro de todo el territorio de la cuenca RT se observa una significativa explotación de agua. Por un lado, en la cuenca alta y media predomina la extracción de agua superficial (59.49%) de manantiales y arroyos, mientras que en la cuenca baja predomina la explotación de agua subterránea (CONAGUA, 2021b). El mayor volumen de agua extraído (36.9 hm^3) se destina para el uso público y de servicios, seguido por el uso agropecuario (26.25 hm^3), este último se abastece principalmente de fuentes superficiales (CONAGUA, 2021b).

Durante el taller se expresó la preocupación de la población por la extracción de agua con fines industriales. En particular, se destacó que en la zona portuaria de Tuxpan se observa un uso intensivo de agua para la industria petrolera y la termoeléctrica. De acuerdo con el Registro Público de Derechos del Agua (CONAGUA, 2021b) dentro de los usos industriales y de servicios se encuentra PEMEX con un volumen concesionado de 20 mil m^3 , así como algunas transportadoras de gas natural con volúmenes concesionados de 25 mil m^3 aproximadamente.

Por otro lado, en la cuenca baja se ha detectado un problema de intrusión salina, lo que ha provocado que el agua destinada para uso doméstico presente altos niveles de salinidad. La intrusión de agua

salada se define como el transporte de aguas salinas hacia zonas previamente ocupadas por agua dulce (Cheng et al., 1999). Por tratarse de acuíferos costeros, en la cuenca RT existe el riesgo de que la explotación intensiva del agua subterránea genere un cambio de la dirección de flujo subterráneo de salida hacia el mar, con la consecuente salinización del agua subterránea (DOF, 2016). Ante este creciente, se destaca la importancia de conservar las dunas costeras, las cuales son un sistema clave que, además de reducir la intrusión de agua salada, funcionan como barrera natural de protección, mejora la recarga de acuíferos, y constituye uno de los ambientes de sedimentación más importantes dentro de la franja costera (Moreno-Casasola y Travieso-Bello, 2006).

Desde una perspectiva de género, se destacó que las tareas relacionadas con el mantenimiento de la infraestructura para la captación de agua, como la conservación de pozos, son realizadas principalmente por hombres. En temporadas de estiaje, ellos también se encargan de extraer, transportar y distribuir el agua, además de gestionar el sistema de bombeo. De igual manera, los comités de agua están conformados principalmente por hombres, mientras que las mujeres participan en menor medida, dedicándose a la limpieza de las tomas de agua y a la administración del recurso en el hogar. No obstante, se evidencia que el manejo y la explotación del agua se realizan de forma comunitaria. Si bien se observa una igualdad formal en el acceso a las tomas de agua, ya que se otorgan sin distinción de género, los hombres realizan la mayoría de las tareas relacionadas con la provisión y administración del recurso. En el ámbito doméstico, las mujeres toman las decisiones sobre su uso, mientras que, a nivel comunitario, los comités de agua están conformados principalmente por hombres, aunque se está impulsando una mayor participación femenina. En el ámbito político, aunque predomina la representación masculina, se ha evidenciado un incremento en la ocupación de cargos por parte de mujeres en agencias municipales y alcaldías.

9.1.5. Eventos extremos: inundaciones, sequías y olas de calor

De acuerdo con el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (INECC, 2019) los municipios de San Bartolo Tutotepec, Huehuetla y Pantepec presentan una mayor vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante inundaciones en comparación con la cuenca baja, principalmente debido a su baja capacidad adaptativa. Las cuencas veracruzanas de los ríos Tuxpan, Cazones, Coatzacoalcos, Papaloapan, Jamapa, Blanco y Tecolutla, históricamente han sufrido inundaciones extraordinarias que han impactado significativamente la agricultura, la vivienda, el transporte, las comunicaciones, el abastecimiento de agua y el saneamiento de canales y drenajes. Particularmente, en la cuenca baja del RT se han presentado inundaciones importantes, como las de 1930, 1944, 1955, 1999 y 2005. Especialmente las inundaciones de octubre de 1999 ocasionaron afectaciones significativas, ya que más de 300 personas murieron y más de 200 mil sufrieron daños materiales y económicos (Vergara et al., 2011). En 2005 un ciclón en el Golfo de México evolucionó a tormenta tropical, el cual se desplazó hacia el Oeste-Noroeste e impacto en las inmediaciones de

Tuxpan con vientos máximos sostenidos de 65 km/h generando inundaciones en el norte de los estados de Veracruz y Puebla (INEGI, 2016b).

Por otro lado, durante la temporada de estiaje, el aumento de las temperaturas agrava las sequías y las olas de calor, las cuales, según las percepciones compartidas en el taller y durante las entrevistas en campo, se vuelven cada vez más frecuentes y representan el principal motivo de preocupación para los productores. Este fenómeno genera impactos negativos en la producción agrícola y pecuaria, además de incrementar el riesgo de incendios forestales. De acuerdo con Salazar-Lizán y colaboradores (2013), la temporada de sequías, agravada por el cambio climático, representa el mayor impacto negativo en la ganadería en el estado, y las mayores pérdidas sufridas por productores son en los rubros de animales y pastizales, afectando principalmente a los potreros.

Entre 2014 y 2015, se registraron 5 eventos climáticos en la región que requirieron recursos del Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) por un total de 771 millones de pesos. De estos, 4 fueron inundaciones fluviales que demandaron la mayor parte de la inversión (CENAPRED, 2018). Así mismo, la CONAGUA (2021c) ha identificado la cuenca del RT con un riesgo alto ante la frecuencia e intensidad de ciclones tropicales. De acuerdo con el Perfil de Riesgo Climático para México (The World Bank Group, 2023), se prevé que el nivel del mar a lo largo de las costas mexicanas - particularmente en la costa de Tuxpan- aumente, alcanzando un incremento de 33 cm para el año 2050 y hasta 89 cm para el 2100, según el escenario SSP3-7.

En cuanto a los impactos diferenciados por género, se identificó que estos eventos meteorológicos afectan de manera distinta las actividades económicas y las responsabilidades familiares. Los hombres, quienes mayoritariamente trabajan fuera del hogar y se encargan de ajustar el calendario de siembra, están expuestos a condiciones ambientales adversas, tales como altas temperaturas, olas de calor e inundaciones. Por otro lado, las mujeres asumen la responsabilidad del acarreo de agua para uso doméstico y enfrentan mayores dificultades para acceder a este recurso. Además, se consideran un grupo vulnerable ante el incremento de la violencia y la disminución de las actividades económicas. Asimismo, se reflexionó sobre el impacto de estos eventos en la salud de toda la población y se destacó la necesidad de invertir en aparatos electrónicos, como ventiladores y aires acondicionados, para mitigar los efectos de las olas de calor.

9.2. Priorización territorial por enfoque

9.2.1. Actividades de conservación

La priorización territorial para focalizar actividades de conservación en la cuenca del RT se refiere a la identificación y evaluación de subcuencas que requieren atención a corto y largo plazo para

garantizar la protección y mantenimiento de la estructura, procesos biofísicos y funciones de los ecosistemas.

Las subcuencas con mayor prioridad para focalizar actividades de **conservación** en la cuenca del RT son: Ameluca, San Lorenzo Achioteppec, San Francisco, Mecapalapa, San José Naranjal, Huehuetla, San Antonio El Grande, Huayacocotla, Tlachichilco y San Bartolo Tutotepec. La priorización de estas subcuencas es el resultado del análisis e integración de los siguientes elementos (Tabla 21, Fig. 35):

1. Alta provisión de SE: subcuencas con mayor rendimiento hídrico, recarga local, control de sedimentos y retención de nutrientes.
2. Alta demanda: subcuencas con alta densidad poblacional y altos volúmenes de extracción de agua superficial y subterránea.
3. Alta conectividad hidrográfica: subcuencas con mayor vinculación en función de la red de drenaje superficial.
4. Alta probabilidad de impactos ante **escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo y vegetación**: subcuencas con diferencias estadísticamente significativas en comparación con los resultados de línea base.

Tabla 21. Descripción de las subcuencas con alta prioridad para llevar a cabo actividades de conservación en la cuenca del Río Tuxpan. Valores de interpretación del ICSE y brecha de género: 1 (condiciones menos favorables) a cero (condiciones más favorables).

| ID | Subcuenca | ICSE | Brecha de género | Municipios de incidencia | Porcentaje (%) del municipio dentro de la subcuenca | Superficie (km ²) |
|----|-------------------------|------|------------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| 28 | Ameluca | 0.41 | 0.65 | Francisco Z. Mena | 2.13 | 9.15 |
| | | | | Pantepec | 35.91 | 79.12 |
| 31 | San Lorenzo Achioteppec | 0.52 | 0.98 | Francisco Z. Mena | 1.42 | 6.07 |
| | | | | Huehuetla | 11.25 | 24.06 |
| | | | | Ixhuatlán de Madero | 21.31 | 142.61 |
| | | | | Pantepec | 0.32 | 0.72 |
| 32 | San Francisco | 0.54 | 0.91 | Huehuetla | 8.45 | 18.07 |
| | | | | Ixhuatlán de Madero | 9.27 | 62.00 |
| | | | | Pantepec | 18.70 | 41.21 |
| | | | | San Bartolo Tutotepec | 0.78 | 2.80 |
| 33 | Mecapalapa | 0.49 | 0.64 | Jalpan | 20.43 | 42.08 |
| | | | | Pantepec | 33.88 | 74.64 |
| | | | | Tlacuilotepec | 0.90 | 1.56 |
| 40 | San José Naranjal | 0.76 | 0.77 | Huehuetla | 1.91 | 4.09 |
| | | | | Ixhuatlán de Madero | 0.17 | 1.12 |
| | | | | San Bartolo Tutotepec | 15.32 | 55.05 |
| | | | | Tlachichilco | 22.35 | 50.46 |

| ID | Subcuenca | ICSE | Brecha de género | Municipios de incidencia | Porcentaje (%) del municipio dentro de la subcuenca | Superficie (km²) |
|----|-----------------------|------|------------------|----------------------------------|---|------------------|
| 42 | Huehuetla | 0.75 | 0.92 | Huehuetla | 26.48 | 56.65 |
| | | | | Jalpan | 0.22 | 0.46 |
| | | | | San Bartolo Tutotepec | 6.26 | 22.48 |
| 43 | San Antonio El Grande | 0.6 | 0.73 | Huehuetla | 10.96 | 23.45 |
| | | | | Jalpan | 1.62 | 3.34 |
| | | | | Tenango de Doria | 0.00 | 0.00 |
| | | | | Tlacuilotepec | 4.03 | 6.98 |
| | | | | Tlaxco | 19.24 | 10.54 |
| 45 | Huayacocotla | 0.58 | 0.4 | Huayacocotla | 42.10 | 219.86 |
| | | | | Texcatepec | 30.93 | 60.40 |
| | | | | Zacualpan | 5.57 | 14.69 |
| | | | | Zontecomatlán de López y Fuentes | 3.56 | 8.63 |
| 47 | Tlachichilco | 0.9 | 0.9 | Huayacocotla | 0.10 | 0.50 |
| | | | | Texcatepec | 19.24 | 37.57 |
| | | | | Tlachichilco | 23.54 | 53.14 |
| | | | | Zacualpan | 50.82 | 134.04 |
| | | | | Zontecomatlán de López y Fuentes | 1.49 | 3.61 |
| 50 | San Bartolo Tutotepec | 0.71 | 0.71 | Huehuetla | 3.67 | 7.84 |
| | | | | San Bartolo Tutotepec | 11.87 | 42.67 |
| | | | | Tenango de Doria | 4.84 | 8.56 |

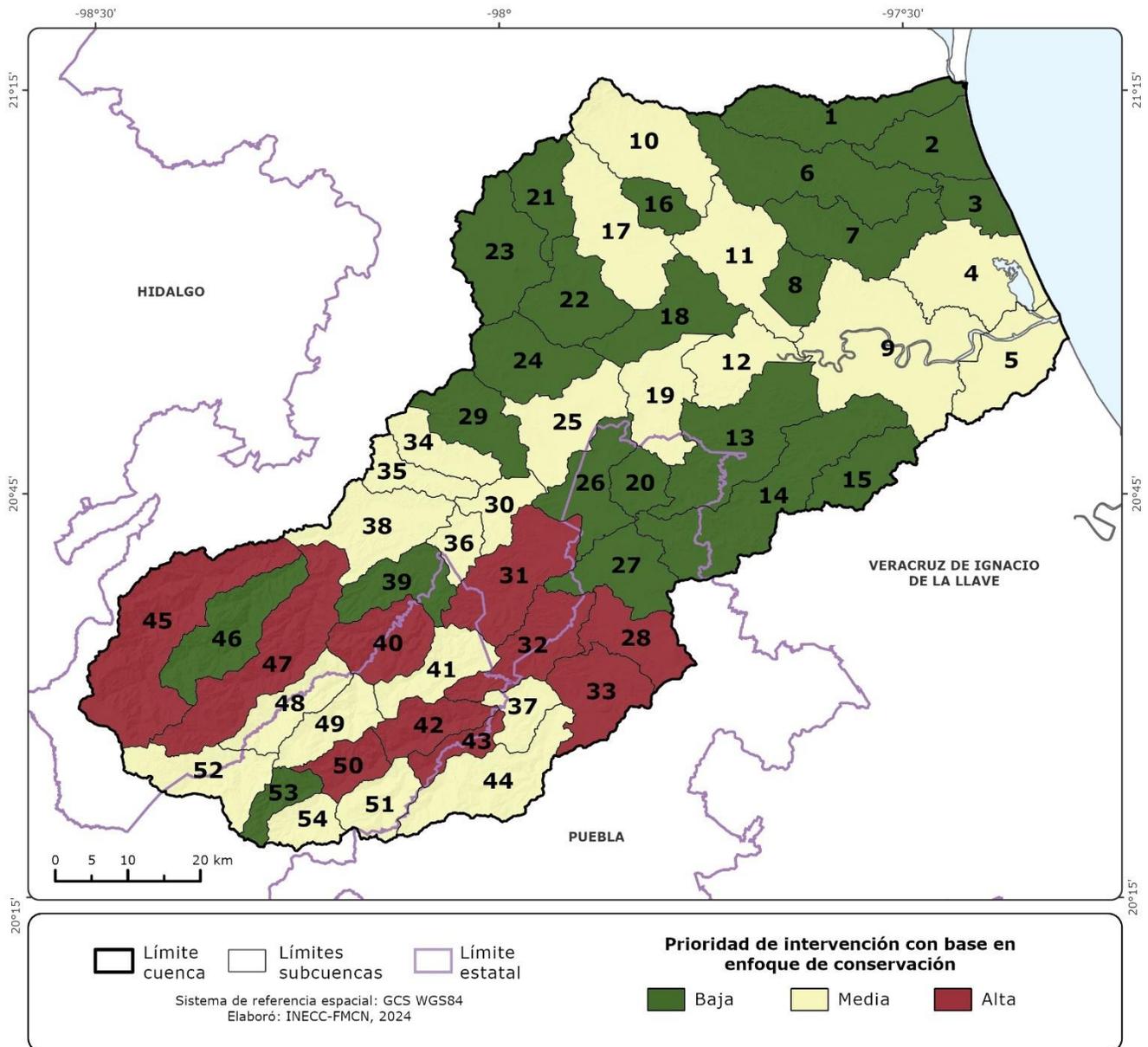


Fig. 35. Mapa de priorización territorial a nivel de subcuenca para la focalización de acciones de conservación en la cuenca del Río Tuxpan.

9.2.2. Actividades de restauración

Las acciones de restauración o rehabilitación enfocadas a maximizar los servicios ecosistémicos requieren de una planificación a nivel regional para lograr impactos significativos en el funcionamiento de los ecosistemas (Comín et al., 2018). Dado que los recursos financieros para llevar a cabo proyectos de restauración o rehabilitación ecológica a gran escala suelen ser limitados, es fundamental priorizar las áreas críticas para mejorar el suministro de múltiples SE.

Las subcuencas con mayor prioridad para focalizar actividades de **restauración** en la cuenca del RT son: Banderas, La Victoria (La Peñita), Tuxpam de Rodríguez Cano, Potrero del Llano, La Guásima, La Camelia (Palo Blanco), Tzocohuite, Ameluca, Mecapalapa y San Bartolo Tutotepec. Estas subcuencas priorizadas cuentan con las siguientes características (Tabla 22, Fig. 36):

1. Baja provisión de SE: subcuencas con menores tasas de rendimiento hídrico, recarga local y mayor susceptibilidad al transporte de sedimentos y nutrientes.
2. Alta demanda de SE: subcuencas con alta densidad poblacional y altos volúmenes de extracción de agua superficial y subterránea.
3. Alta conectividad hidrográfica: subcuencas con mayor vinculación en función de la red de drenaje superficial.
4. Alta probabilidad de impactos ante **escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo y vegetación**: subcuencas con diferencias estadísticamente significativas en comparación con los resultados de línea base.

Tabla 22. Descripción de las subcuencas con alta prioridad para llevar a cabo actividades de restauración en la cuenca del Río Tuxpan. Valores de interpretación del ICSE y brecha de género: 1 (condiciones menos favorables) a cero (condiciones más favorables).

| ID | Subcuenca | ICSE | Brecha de género | Municipios de incidencia | Porcentaje (%) del municipio dentro de la subcuenca | Superficie (km ²) |
|----|--------------------------|------|------------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| 4 | Banderas | 0.25 | 0.25 | Tuxpan | 19.34 | 186.48 |
| 5 | La Victoria (La Peñita) | 0.25 | 0.25 | Tuxpan | 14.26 | 137.47 |
| 9 | Tuxpam de Rodríguez Cano | 0.35 | 0.16 | Álamo Temapache | 53.77 | 130.20 |
| | | | | Tihuatlán | 1.54 | 11.04 |
| | | | | Tuxpan | 21.25 | 204.96 |
| 11 | Potrero del Llano | 0.5 | 0 | Álamo Temapache | 12.10 | 154.53 |
| | | | | Cerro Azul | 1.23 | 1.12 |
| 17 | La Guásima | 0.5 | 0.36 | Álamo Temapache | 7.26 | 92.76 |
| | | | | Chicontepec | 0.97 | 9.09 |
| | | | | Tepetzintla | 33.17 | 75.41 |

| ID | Subcuenca | ICSE | Brecha de género | Municipios de incidencia | Porcentaje (%) del municipio dentro de la subcuenca | Superficie (km²) |
|----|--------------------------|------|------------------|--------------------------|---|------------------|
| 19 | La Camelia (Palo Blanco) | 0.46 | 0.12 | Álamo Temapache | 7.81 | 99.74 |
| | | | | Francisco Z. Mena | 4.36 | 18.70 |
| 25 | Tzocohuite | 0.5 | 0.52 | Álamo Temapache | 4.82 | 61.52 |
| | | | | Chicontepec | 1.66 | 15.58 |
| | | | | Francisco Z. Mena | 0.29 | 1.24 |
| | | | | Ixhuatlán de Madero | 8.52 | 56.99 |
| 28 | Ameluca | 0.41 | 0.65 | Francisco Z. Mena | 2.13 | 9.15 |
| | | | | Pantepec | 35.91 | 79.12 |
| 33 | Mecapalapa | 0.49 | 0.64 | Jalpan | 20.43 | 42.08 |
| | | | | Pantepec | 33.88 | 74.64 |
| | | | | Tlacuilotepec | 0.90 | 1.56 |
| 50 | San Bartolo Tutotepec | 0.71 | 0.71 | Huehuetla | 3.67 | 7.84 |
| | | | | San Bartolo Tutotepec | 11.87 | 42.67 |
| | | | | Tenango de Doria | 4.84 | 8.56 |

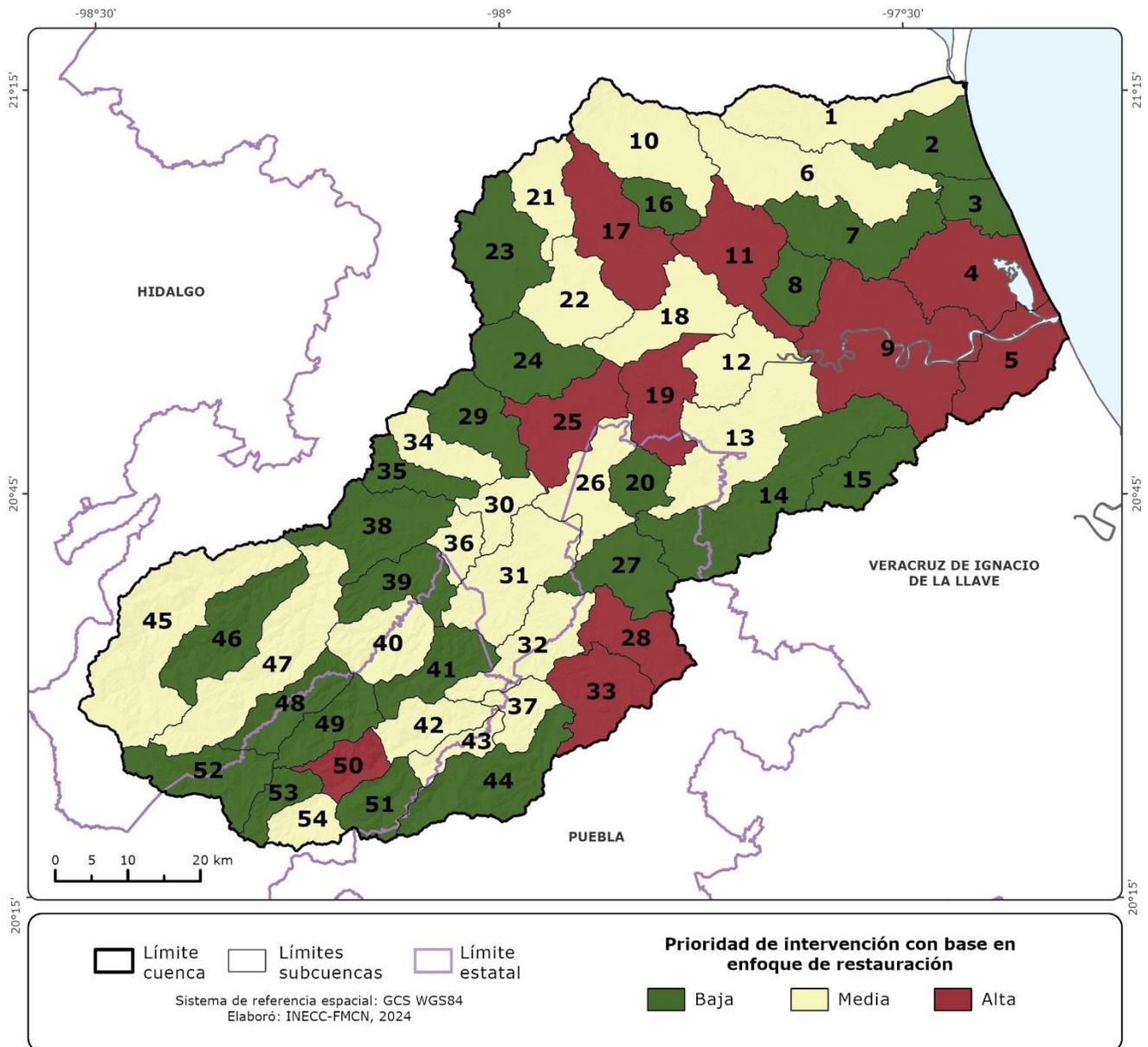


Fig. 36. Mapa de priorización territorial a nivel de subcuenca para la focalización de acciones de restauración en la cuenca del Río Tuxpan.

9.2.3. Adecuación de prácticas productivas

La identificación y evaluación de áreas prioritarias para la adecuación de prácticas productivas requiere de un enfoque integral y participativo que considere los impactos potenciales socio-ecológicos, la importancia de la actividad productiva y las posibles alternativas de manejo sostenible en la región.

Las zonas prioritarias para focalizar acciones de **adecuación de prácticas productivas** se concentran principalmente en el sector agropecuario. En la cuenca del RT, resultaron prioritarias las subcuencas

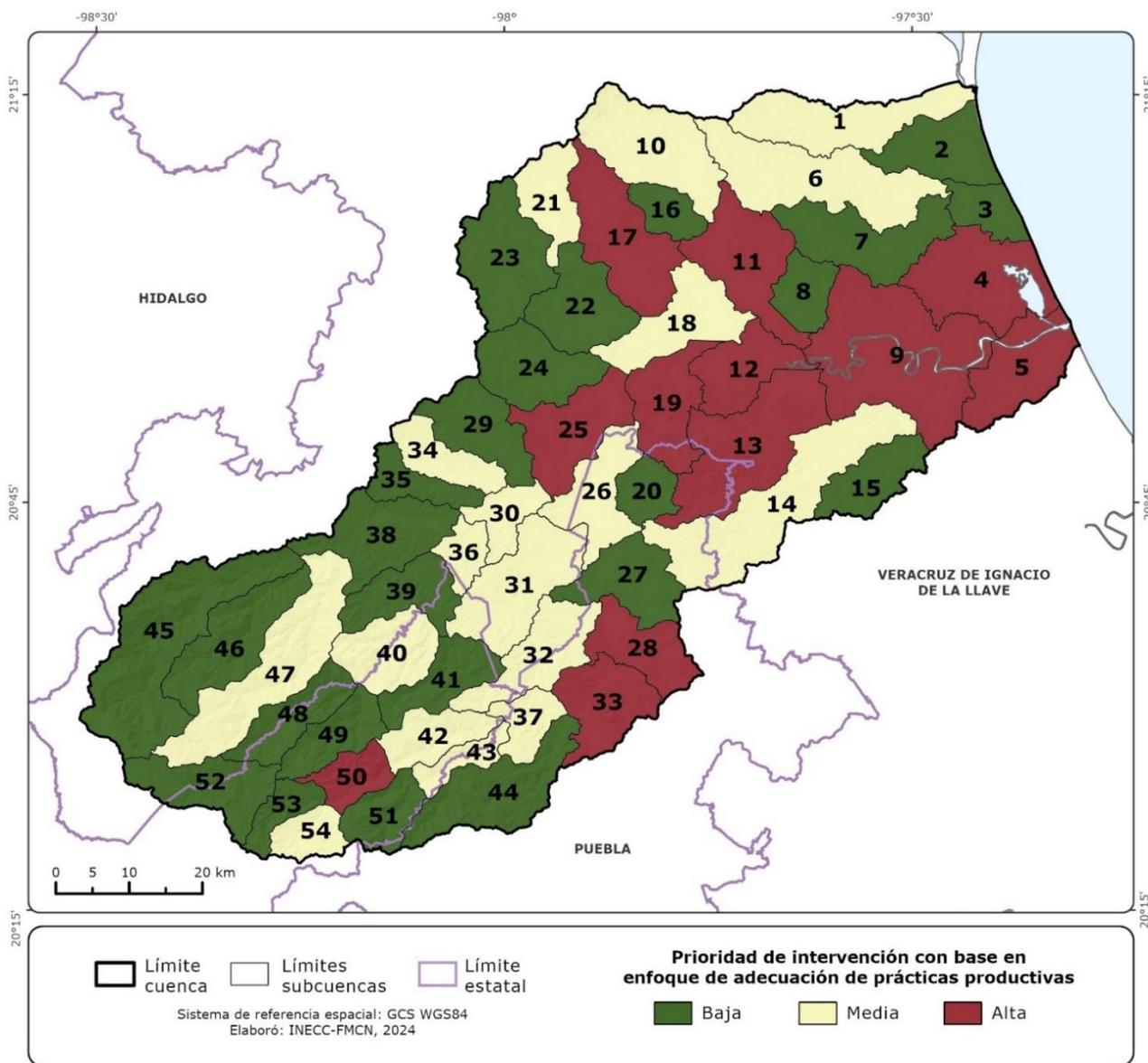
de Banderas, La Victoria (La Peñita), Túxpam de Rodríguez Cano, Potrero del Llano, Álamo, Estero del Ídolo, La Guásima, La Camelia (Palo Blanco), Tzocohuite, Ameluca, Mecapalapa y San Bartolo Tutotepec, considerando las siguientes características (Tabla 23, Fig. 37):

1. Baja provisión de SE: subcuencas con menores tasas de rendimiento hídrico y mayor susceptibilidad al transporte de sedimentos y nutrientes.
2. Alta demanda de SE: subcuencas con alta densidad poblacional y altos volúmenes de extracción de agua superficial y subterránea.
3. Alta conectividad hidrográfica: subcuencas con mayor vinculación en función de la red de drenaje superficial.
4. Alta probabilidad de impactos ante **escenarios de cambio climático y cambios de uso de suelo y vegetación**: subcuencas con diferencias estadísticamente significativas en comparación con los resultados de línea base.

Tabla 23. Descripción de las subcuencas con alta prioridad para focalizar actividades de adecuación de prácticas productivas en la cuenca del Río Tuxpan. Valores de interpretación del ICSE y brecha de género: 1 (condiciones menos favorables) a cero (condiciones más favorables). Los municipios de Texcatepec, Tlaxco, San Bartolo Tutotepec, Zacualpan, Tenango de Doria y Pahuatlán presentan los valores más altos de vulnerabilidad al cambio climático (INECC, 2019).

| ID | Subcuenca | ICSE | Brecha de género | Municipios de incidencia | Porcentaje (%) del municipio dentro de la subcuenca | Superficie (km ²) |
|----|--------------------------|------|------------------|--------------------------|---|-------------------------------|
| 4 | Banderas | 0.25 | 0.25 | Tuxpan | 19.34 | 186.48 |
| 5 | La Victoria (La Peñita) | 0.25 | 0.25 | Tuxpan | 14.26 | 137.47 |
| 9 | Túxpam de Rodríguez Cano | 0.35 | 0.16 | Álamo Temapache | 53.77 | 130.20 |
| | | | | Tihuatlán | 1.54 | 11.04 |
| | | | | Tuxpan | 21.25 | 204.96 |
| 11 | Potrero del Llano | 0.5 | 0 | Álamo Temapache | 12.10 | 154.53 |
| | | | | Cerro Azul | 1.23 | 1.12 |
| 12 | Álamo | 0.5 | 0.5 | Álamo Temapache | 8.20 | 104.66 |
| 13 | Estero del Ídolo | 0.44 | 0.33 | Álamo Temapache | 9.96 | 127.17 |
| | | | | Castillo de Teayo | 15.91 | 43.37 |
| | | | | Francisco Z. Mena | 13.39 | 57.39 |
| 17 | La Guásima | 0.5 | 0.36 | Álamo Temapache | 7.26 | 92.76 |
| | | | | Chicontepec | 0.97 | 9.09 |
| | | | | Tepetzintla | 33.17 | 75.41 |
| 19 | La Camelia (Palo Blanco) | 0.46 | 0.12 | Álamo Temapache | 7.81 | 99.74 |
| | | | | Francisco Z. Mena | 4.36 | 18.70 |
| 25 | Tzocohuite | 0.5 | 0.52 | Álamo Temapache | 4.82 | 61.52 |

| ID | Subcuenca | ICSE | Brecha de género | Municipios de incidencia | Porcentaje (%) del municipio dentro de la subcuenca | Superficie (km²) |
|-----------|-----------------------|------|------------------|--------------------------|---|------------------|
| | | | | Chicontepec | 1.66 | 15.58 |
| | | | | Francisco Z. Mena | 0.29 | 1.24 |
| | | | | Ixhuatlán de Madero | 8.52 | 56.99 |
| 28 | Ameluca | 0.41 | 0.65 | Francisco Z. Mena | 2.13 | 9.15 |
| | | | | Pantepec | 35.91 | 79.12 |
| 33 | Mecapalapa | 0.49 | 0.64 | Jalpan | 20.43 | 42.08 |
| | | | | Pantepec | 33.88 | 74.64 |
| | | | | Tlacuilotepec | 0.90 | 1.56 |
| 50 | San Bartolo Tutotepec | 0.71 | 0.71 | Huehuetla | 3.67 | 7.84 |
| | | | | San Bartolo Tutotepec | 11.87 | 42.67 |
| | | | | Tenango de Doria | 4.84 | 8.56 |



9.3. Focalización de acciones prioritarias en la cuenca del Río Tuxpan.

La agenda ambiental para la cuenca del RT se elaboró a partir de la integración de los resultados del componente participativo y el componente técnico-científico (analítico-relacional). Este proceso permite la identificación de subcuencas prioritarias para focalizar acciones de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas de acuerdo con la oferta-demanda de SE, la conectividad hidrográfica y la probabilidad de impactos ante escenarios de cambio climático y de uso de suelo y vegetación.

9.3.1. Actividades prioritarias para la provisión y mantenimiento de los servicios ecosistémicos (SE)

El segundo taller participativo se llevó a cabo el 29 de agosto de 2024 en Xalapa, Veracruz. Este taller contó con la participación de 27 personas (13 hombres y 14 mujeres) representantes de instituciones públicas a nivel estatal y federal (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER); Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO); CONAGUA; CONANP; Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA); Instituto de Ecología A.C.; Municipio de Huayacocotla; PROFEPA; Secretaría de Salud de Veracruz; Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca de Veracruz (SEDARPA); Secretaría de Medio Ambiente de Veracruz; Universidad Veracruzana, Universidad Veracruzana Intercultural) y organizaciones de la sociedad civil (Asociación de Usuarios de Riego El Tamarindo Rincón Zapote, S. C. DE R. L.; Consejo Consultivo de Pueblos Indígenas de Veracruz, Fundación Yépez A.C.).

El objetivo principal del segundo taller consistió en identificar y priorizar las actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas que se podrían promover o fortalecer para mejorar la provisión y mantenimiento de los SE de la cuenca RT. La Tabla 24 describe los retos, oportunidades y principales actores clave identificados por los y las participantes al taller para cada una de las actividades prioritarias.

Tabla 24. Descripción de actividades prioritarias para la conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas (agroforestería y ganadería) identificadas por las personas participantes durante el segundo taller PAMIC de la cuenca del Río Tuxpan. **F**-Financiamiento, **I**- Implementación.

| Actividad prioritaria de conservación y restauración | | | | |
|---|---|---|--|---|
| Establecer áreas de restauración, reforestación, aforestación y/o mejoramiento de la vegetación en sistemas riparios, humedales y/o manantiales | | | | |
| Actores clave | F | I | Principales retos | Oportunidades |
| Ejidos forestales | ◆ | ◆ | - Limitaciones en cuanto a capacidades locales y financiamiento dentro de los gobiernos municipales. | - Crear alianzas con instituciones académicas, organizaciones de la sociedad civil y el sector privado para obtener financiamiento y apoyo técnico. |
| Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz (SEDEMA) | ◆ | | - Falta de recursos humanos y de documentos actualizados sobre vulnerabilidad de riesgos por inundaciones a nivel municipal. | - Establecer medidas preventivas específicas desde los ayuntamientos en coordinación con Protección Civil. |
| Grupos colectivos no constituidos | ◆ | ◆ | - Falta de comunicación y coordinación interinstitucional. | - Fortalecer protocolos de comunicación de riesgos hacia zonas rurales y de difícil acceso. |
| Comunidades | ◆ | ◆ | - Ausencia de programas enfocados a la restauración que trasciendan las administraciones de gobierno. | - Establecer mesas de trabajo interinstitucionales y permanentes para la colaboración transversal. |
| Instituto Mexicano de Tecnología de Agua (IMTA) | | ◆ | | - Incentivos para prácticas de restauración y diseño de programas con una visión a largo plazo. |
| Organismos operadores (p. ej. FGM) | ◆ | ◆ | | - Desarrollo de capacidades técnicas y colaboración con instituciones académicas. |
| Secretaría de Defensa Nacional (SEDENA) | ◆ | ◆ | | |
| Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) | | ◆ | | |

| Actividad prioritaria de agroforestería | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Implementar y distribuir de manera estratégica sistemas para la cosecha o captación agua pluvial destinada a usos agropecuarios / Implementar prácticas de manejo y uso sostenible del agua | | | | |
| Actores clave | F | I | Principales retos | Oportunidades |
| Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SEDARPA) del estado de Veracruz | ◆ | ◆ | - Infraestructura inadecuada para el traslado de materiales o equipo hacia zonas rurales o remotas. | - Financiar sistemas de captación y uso eficiente del agua con mezcla de recursos. |
| FIRA | ◆ | ◆ | - Barreras lingüísticas que dificultan la comunicación con comunidades indígenas. | - Diseño de sistemas que se ajusten a las condiciones geográficas y climáticas. |
| Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) del estado de Veracruz | ◆ | ◆ | - Falta de un manejo eficiente del agua y la energía en sistemas productivos. | - Contar con traductores locales y promover la participación de las comunidades en la planificación de proyectos. |
| CONAGUA | | ◆ | - Dificultades para acceder a créditos o subsidios para la tecnificación del riego. | - Formación técnica en el diseño, instalación y mantenimiento de los sistemas de captación, en colaboración con instituciones académicas. |
| Comisión del Agua del Estado de Veracruz (CAEV) | ◆ | ◆ | - Alteraciones en la estacionalidad y patrones de lluvia debido al cambio climático. | - Destinar recursos financieros para la reactivación de las plantas de tratamiento de agua. |
| CONAGUA | ◆ | ◆ | | |
| CONAFOR | ◆ | ◆ | - Pocos sitios de captación de agua pluvial. | - Implementación de ecotecias en las zonas altas de la cuenca (p. ej. sistemas |

| | | | | |
|---|----------|----------|---|---|
| <p>Organizaciones de la sociedad civil (p. ej. FGM, CESADESH, Fundación Pedro y Elena Hernández, Red OSC y Fundación Yépez)</p> | <p>◆</p> | <p>◆</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de promotores comunitarios especialistas en agua. - Plantas de tratamiento de agua sin funcionamiento por falta de mantenimiento o recursos. | <p>de captación de agua o zanjas de infiltración).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Esquemas de financiamiento flexibles para la implementación de sistemas de riego tecnificados. - Identificar sitios estratégicos para aumentar la red de captación de agua. - Mejorar la infraestructura hidráulica mediante rehabilitación de compuertas y recubrimiento de canales. - Fortalecer la vinculación con instituciones académicas como la Universidad Veracruzana Intercultural (UVI). |
|---|----------|----------|---|---|

| Actividad prioritaria de ganadería | | | | |
|---|---|---|--|---|
| Implementar y distribuir de manera estratégica sistemas para la cosecha o captación agua pluvial destinada a usos agropecuarios | | | | |
| Actores clave | F | I | Principales retos | Oportunidades |
| CONAGUA | | ◆ | <ul style="list-style-type: none"> - Falta de talleres o foros para el intercambio de experiencias entre comunidades. - Adaptación a los patrones de lluvia, sequías y disponibilidad de agua por efectos del cambio climático. - Acceso a la información y su permeabilidad (generación, procesamiento y divulgación). - Condiciones actuales de los procesos de erosión. - Falta de regulación y sanciones al incumplimiento de leyes que regulan la explotación de agua. - Gestiones vinculantes con actores que tienen la capacidad de implementar proyectos, como alcaldes o presidentes municipales (consejos municipales de desarrollo sustentable), juntas intermunicipales. | <ul style="list-style-type: none"> - Implementación de mecanismos mixtos de crédito. - Incorporación de taxonomía sostenible por parte de las entidades de crédito. - Integración de recomendaciones federales dentro de las políticas estatales referentes al cambio climático. - Fortalecimiento de mecanismos existentes para el intercambio de experiencias de forma transversal, como los Comités de Aprendizaje Campesino de <i>Sembrando Vida</i>. - Aumentar la cobertura vegetal mediante el establecimiento de árboles y arbustos dispersos o cercas vivas multipropósito en los bordes de los cauces que atraviesan los principales núcleos ganaderos. - Articulación entre programas y proyectos que impulsan el establecimiento de sistemas silvopastoriles, como CONECTA. |
| Colegio de Postgraduados (COLPOS) | | ◆ | | |
| Ayuntamientos municipales | ◆ | ◆ | | |
| Unión Ganadera Centro (regionales) | ◆ | ◆ | | |
| SEDARPA | ◆ | ◆ | | |
| SADER | ◆ | ◆ | | |
| INIFAP | | ◆ | | |
| Red de Ganadería Sostenible | | ◆ | | |
| Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) | ◆ | ◆ | | |
| Tecnológicos | | ◆ | | |
| Técnicos/prestadores de servicios | | ◆ | | |

Además de las actividades descritas en la Tabla 24, y considerando las presiones detectadas en la cuenca del RT, se proponen las siguientes acciones complementarias para la provisión y el mantenimiento de los SE:

- Validar y complementar los resultados del PAMIC con evaluaciones de caudal ecológico y vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación para implementar medidas específicas que mejoren el régimen hidrológico de las subcuencas.
- Impulsar y operar programas de fortalecimiento del tejido social para el desarrollo de proyectos productivos con apoyos especiales para mujeres y jóvenes que no son propietarias de tierra.
- Fortalecer inversiones e instrumentos regulatorios con enfoque de cuenca.
- Establecer o fortalecer el esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA).

De manera particular, el PSA fue creado en 2003 y, actualmente es operado por la CONAFOR con el objetivo principal de mejorar la calidad y el suministro de agua mediante la prevención de la deforestación, además de brindar otros servicios sinérgicos como la prevención y el control de la erosión del suelo (Mokondoko et al., 2018). Lo anterior resalta la importancia de complementar los criterios de elegibilidad de las áreas de PSA, que generalmente consideran factores sociales como la marginación y la pobreza, con evaluaciones espacialmente explícitas sobre la provisión de SE. En este sentido, **los resultados del PAMIC pueden servir como un insumo base en los criterios de prelación para determinar áreas elegibles** para desarrollar estrategias de conservación como el PSA y otros programas públicos o privados enfocados en la conservación o restauración de los suelos, los cuerpos de agua y la biodiversidad (Cotler y Cuevas, 2019).

En la cuenca del RT, si bien predomina la ganadería extensiva y las actividades agrícolas, existe un interés por el manejo forestal. La CONAFOR ha promovido programas orientados al desarrollo y fortalecimiento de capacidades locales para la incorporación de prácticas de manejo forestal sustentable, así como la implementación de estrategias de restauración ecológica en la cuenca.

A través del Programa de Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable, CONAFOR ha impulsado la ejecución de acciones dirigidas a la conservación, restauración e incorporación de áreas al manejo forestal sustentable, además del fortalecimiento de cadenas de valor en el sector forestal. Entre los apoyos otorgados se incluyen incentivos para el establecimiento y desarrollo de plantaciones forestales y agroforestales, el fortalecimiento de esquemas de pago por servicios ambientales, y el impulso de estrategias para la prevención y combate de plagas e incendios (CONAFOR, 2022).

Por otro lado, el Programa de Compensación Ambiental asigna recursos derivados de las autorizaciones de cambio de uso de suelo en terrenos forestales para mitigar los impactos sobre la vegetación y los servicios ecosistémicos, priorizando la restauración ecológica en ecosistemas de

manglar dentro de la cuenca del Río Tuxpan (CONAFOR, 2023b). Estas acciones se alinean con los lineamientos técnicos y ambientales del PAMIC, el cual establece criterios para la identificación de áreas prioritarias sujetas a procesos de degradación y con potencial de restauración.

El PAMIC proporciona criterios técnicos clave, tales como la identificación de zonas de recarga hídrica, áreas con potencial para sistemas silvopastoriles y territorios aptos para la integración de producción agroforestal con conservación ambiental. Estas directrices contribuyen a fortalecer la efectividad de ambas iniciativas, asegurando que las intervenciones sean estratégicas, sostenibles y alineadas con el contexto ambiental y socioeconómico de la región.

9.3.2. Programas de conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas identificados en la cuenca del Río Tuxpan

El objetivo de este apartado es complementar los resultados de los talleres participativos con base en la identificación y la articulación de acciones prioritarias relacionadas con los alcances del PAMIC, que han sido propuestas o implementadas por diferentes instituciones públicas o privadas.

La Tabla 25 proporciona un listado de 21 programas que promueven actividades de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas en los municipios dentro de la cuenca RT. Algunos programas o proyectos también podrían estar presentes en otros municipios fuera del límite de las cuencas o registrados en otras fuentes de información por lo que se recomienda verificar, actualizar y complementar este compendio con información de otras iniciativas o estrategias locales en curso. En el ANEXO 3 se puede consultar una descripción general de cada uno de estos programas, identificados a través de diferentes fuentes de información pública (2022-2024).

De acuerdo con el sociograma derivado del análisis de redes (Fig. 38), los municipios donde inciden la mayoría de los proyectos o programas registrados son Álamo Temapache, Castillo de Teayo y Cerro Azul (4). Estos resultados pueden estar asociados con el acceso o la ausencia de información pública, por lo que es recomendable mantener actualizada la información para verificar el detalle de cada uno de los proyectos que se describen.

Las instituciones locales y regionales como SEDARPA, SEDEMA, SADER, CAEV, CONAFOR, Secretaría del Bienestar, CONAGUA, Fundación Pedro y Elena Hernández, Fundación Yépez, COLPOS, Unión Ganadera Centro (regionales), Red de Ganadería Sostenible, entre otros, también se identificaron en los talleres como actores o sectores clave para impulsar o articular acciones que contribuyan con los objetivos y alcances del PAMIC en la cuenca del RT.

Finalmente, las inversiones públicas y privadas deben alinearse con visiones y metas en común para promover la producción sostenible de la cuenca del RT. Actualmente, algunos proyectos podrían estar favoreciendo actividades productivas, apoyos o incentivos que actúan en detrimento de la

conservación de los ecosistemas y sus SE. Por lo tanto, resulta necesario unificar la visión de las dependencias públicas y privadas e incrementar la supervisión institucional en campo para evitar la impunidad y asegurar que el seguimiento y la vigilancia sean efectivos. Esto también incide en el fortalecimiento y la continuidad en las políticas públicas y la aplicación eficiente de los marcos regulatorios.

Tabla 25. Listado de programas y proyectos (2022-2024) que contribuyen con los objetivos y alcances del PAMIC en los municipios de incidencia de la cuenca Río Tuxpan.

| Institución | Programas o proyectos ¹ | Municipios CONECTA |
|--|--|---|
| SEDARPA (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca) | 1. PFGSICV . Programa de Fomento a la Ganadería Sustentable con Integración de Cadenas de Valor | No especificado ² |
| SEDEMA (Secretaría del Medio Ambiente del estado de Veracruz) | 2. PFA . Programa para el Fomento Ambiental | No especificado ² |
| Secretaría de Bienestar | 3. PSV . Programa Sembrando Vida | No especificado ² |
| SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural) | 4. PPB . Programa Producción para el Bienestar 5. PFLAGPA . Programa de Fomento a la Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura. 6. PFB . Programa de Fertilizantes para el Bienestar 2024 7. PPGPAB . Programa de Precios de Garantía a Productos Alimentarios Básicos | No especificado ² |
| CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) | 8. PCA . Programa de Compensación Ambiental 9. PADFS . Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable Componente I. Manejo Forestal Comunitario y Cadenas de Valor 2024. Componente II. Plantaciones Forestales Comerciales y Agroforestales (PFCA). | No especificado ² Álamo Temapache Castillo de Teayo Huayacocotla Tamiahua Tihuatlán Zacualpan |
| Banco Mundial, a través del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN), y del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) | 10. CONECTA . "Conectando la Salud de las Cuencas con la Producción Ganadera y Agroforestal Sostenible" (seis subproyectos) | Cerro Azul Chicontepepec Huayacocotla Tepetzintla Tancoco |
| Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Programa Hídrico Regional (PHR 2021-2024). | 11. INUNDACIONES . Protección contra inundaciones de zonas productivas y estabilización de márgenes del río Vinazco 12. POTABLE-X . Construcción del sistema múltiple de agua potable "El Xúchitl" 13. ALCANTARILLADO . Construcción de alcantarillado sanitario (primera etapa) 14. MORALILLO . Elaboración de proyecto de rehabilitación de la obra de captación "presa El Moralillo" 15. POTABLE-A . Construcción del sistema múltiple de agua potable 16. P-POTABILIZADORA Rehabilitación y ampliación de los módulos 1 y 2 de la planta potabilizadora (segunda etapa) 17. POE-RT . Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la cuenca Río Tuxpan 18. HUMEDAL-ART . Establecimiento de Humedales Artificiales para Tratamiento de Aguas Residuales Municipales 19. HUMEDAL-COST . Programa de Conservación de Humedales Costeros como medida de adaptación al cambio climático 20. PDM- MENA . Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024 21. PDM-TEAYO . Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024 | Álamo Temapache Álamo Temapache Texcatepec Cerro Azul Álamo Temapache Cerro Azul Castillo de Teayo, Cerro Azul, Huayacocotla, Ixhuatlán de Madero, Tepetzintla, Texcatepec, Tihuatlán, Tlachichilco, Tuxpan y Zacualpan Tuxpan Tuxpan Francisco Z. Mena y Castillo de Teayo Castillo de Teayo |

¹ Acrónimos (resaltados en negritas) de los proyectos y programas incluidos en el análisis de redes (Fig. 38)² Información disponible a nivel federal o estatal.

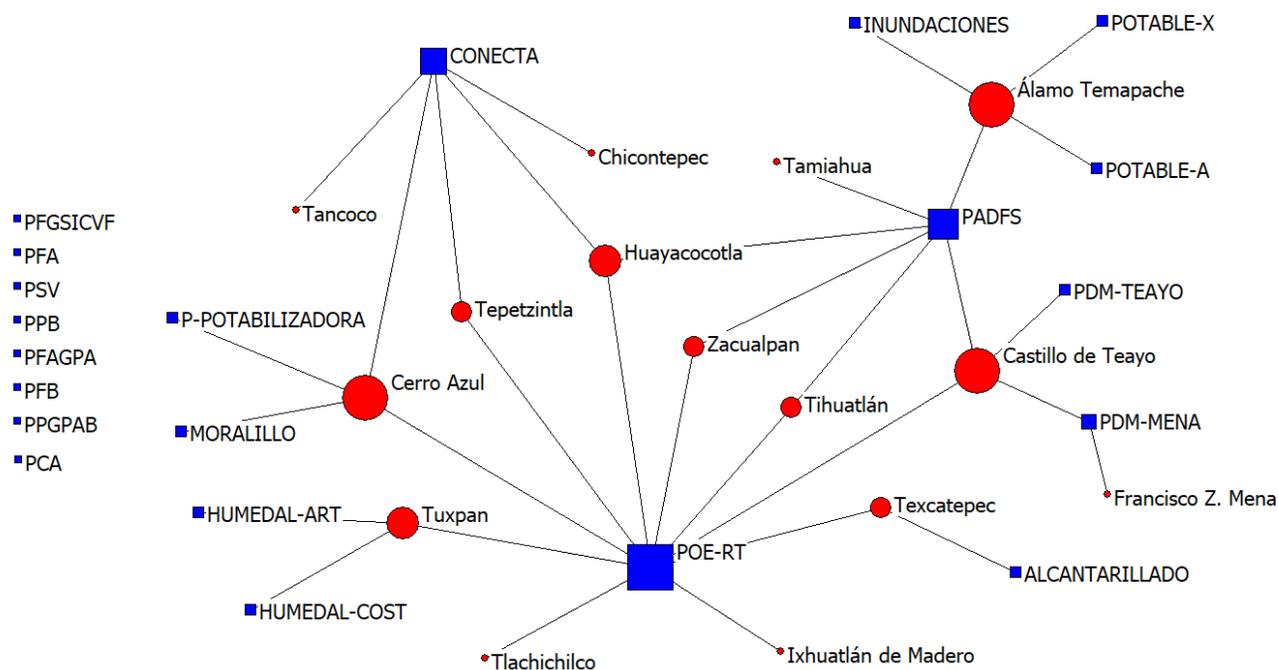


Fig. 38. Sociograma de instituciones con programas o proyectos (cuadrados azules) en los municipios de incidencia (círculos rojos) de la cuenca del Río Tuxpan. El tamaño de los nodos corresponde al índice de centralidad (número de vínculos directos).

9.3.3. Subcuencas prioritarias

En este apartado se describen las subcuencas con mayor o menor prioridad de intervención con base en la integración de enfoques para focalizar actividades de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas (Fig. 39). La Tabla 26 incluye el listado y tipo de subcuenca, así como el cálculo de superficies (km²) de ANP, ADVC (SIGEIA-SEMARNAT, 2022) y áreas con esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) registradas durante el periodo de 2018-2021. Además, se sistematiza la información de los subproyectos de CONECTA que se llevan a cabo en la cuenca del RT (ANEXO 3).

De acuerdo con los resultados, **las subcuencas de Ameluca (ID:28), Mecapalapa (ID:33) y San Bartolo Tutotepec (ID:50) resultaron con la mayor prioridad para llevar a cabo actividades de conservación, restauración y adecuación de prácticas productivas.** Estas subcuencas albergan una población aproximada de 31,543 personas, abarcando las principales localidades de Ameluca, Agua Linda, Ignacio Zaragoza, Mecapalapa, Pantepec y San Bartolo Tutotepec. Destacan por su alta conectividad hidrológica, convirtiéndose en áreas clave para la provisión y demanda de agua gracias a sus altos niveles de rendimiento hídrico y recarga local. No obstante, enfrentan una gran presión derivada de la alta o media densidad poblacional en estas subcuencas, y de la expansión de la frontera agrícola y pecuaria sobre las áreas de vegetación natural, que actualmente cubren el 26.7%

de la superficie total de la cuenca. Además, estas subcuencas presentan vulnerabilidades al cambio climático, lo que refuerza la necesidad de acciones a corto plazo para su manejo y protección.

Las subcuencas de Banderas (ID: 4), La Victoria (La Peñita) (ID: 5), Túxpam de Rodríguez Cano (ID: 9), Potrero del Llano (ID: 11), Álamo (ID: 12), Estero del Ídolo (ID:13), La Guásima (ID: 17), La Camelia (Palo Blanco) (ID: 19) y Tzocohuite (ID: 25) se identificaron como prioritarias para llevar a cabo actividades de restauración y adecuación de prácticas productivas. Estas subcuencas presentan un uso de suelo dominado por pastizales destinados al forraje y actividades agrícolas, correspondiente a más del 84% de su superficie, con una expansión creciente de la citricultura. Destacan por una alta demanda de agua, evidenciada en el número de concesiones y en los volúmenes de extracción de agua subterránea, destinados principalmente al abastecimiento público y de servicios. Asimismo, albergan en su totalidad el centro urbano de Túxpam, lo que acentúa la presión sobre el agua de la región.

Adicionalmente, las subcuencas de Banderas y La Victoria (La Peñita) contienen manglares de importancia internacional en los alrededores del puerto de Tuxpan, reconocidos como sitios RAMSAR. Estos ecosistemas desempeñan un papel fundamental en la protección contra la erosión costera ocasionada por huracanes y tormentas intensas, además de proveer otros servicios ecosistémicos clave, como la fijación de carbono y la movilización de materia orgánica (INEGI, 2016b). No obstante, las actividades agropecuarias y el uso portuario para la importación y exportación de productos representan factores de presión que amenazan su conservación (Basáñez, 2005). Ante este panorama, resulta fundamental evaluar el estado actual de estas áreas para fortalecer las iniciativas existentes, generar sinergias y establecer un monitoreo a largo plazo que facilite la consolidación de prácticas sostenibles.

En este sentido, además de los subproyectos de CONECTA que se desarrollan en la cuenca del RT para fortalecer las capacidades productivas a través de prácticas sostenibles (Tabla 26, ANEXO 3), se han reportado esfuerzos adicionales en la región, como las iniciativas de reforestación inteligente promovidas por la Fundación Yépez A.C. en el norte de Veracruz, a través de técnicas sustentables y especies arbóreas nativas o endémicas en colaboración con las comunidades locales (Fundación Yépez, n.d.). Asimismo, la CONAFOR ha impulsado proyectos de restauración ecológica de manglares en las lagunas de Tamiahua y Tampamachoco a través del programa de Compensación Ambiental (CONAFOR, 2023).

Las subcuencas de San Lorenzo Achiotepic (ID: 31), San Francisco (ID: 32), San José Naranjal (ID: 40), Huehuetla (ID: 42), San Antonio El Grande (ID: 43), Tlachichilco (ID: 47) y Huayacocotla (ID: 45) resultaron altamente prioritarias para impulsar o fortalecer actividades de conservación. En términos generales, la mayoría de las subcuencas presentan una prioridad alta o media para la

implementación de actividades de conservación, debido a la presencia de vegetación original como bosques, selvas o manglares. Particularmente, más del 54% de estas subcuencas está cubierto de vegetación natural, entre las cuales destacan la selva alta perennifolia/subperennifolia, bosque mesófilo de montaña y bosque de pino. Las subcuencas de Huayacocotla y Tlachichilco albergan áreas de conservación destinadas al Pago por Servicios Ambientales, por lo que se destaca la necesidad de alinear y fortalecer los objetivos del PAMIC con los criterios de elegibilidad de las áreas de PSA, con el propósito de consolidar las acciones de conservación y explorar iniciativas complementarias que aprovechen las capacidades locales. La integración de estas acciones con el fomento de prácticas agroforestales, la implementación de sistemas de manejo de suelos para reducir la erosión y aumentar la resiliencia frente a inundaciones, así como la restauración de vegetación riparia, contribuiría significativamente a mitigar los impactos de eventos extremos.

De acuerdo con lo anterior, es altamente recomendable llevar a cabo un análisis detallado de los procesos productivos, las dinámicas socioeconómicas, los intereses y los retos específicos relacionados con la implementación o adaptación de estrategias específicas para la conservación, restauración y el manejo sostenible. Esto debe llevarse a cabo tomando en cuenta el contexto socioecológico, los recursos disponibles, la disposición de las partes interesadas y la viabilidad de las acciones a un nivel más local.

Tabla 26. Descripción de las subcuencas ordenadas de acuerdo con su prioridad de intervención para focalizar actividades de conservación (**CON**), restauración (**RES**) o adecuación de prácticas productivas (**APP**). Tipo de subcuenca: Emisora (**E**), Receptora (**R**).

| ID | Subcuenca | Tipo de subcuenca | CON | RES | APP | PSA (km ²) | ANP (km ²) | Subproyectos CONECTA |
|----|---------------------------|-------------------|-------|-------|-------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 28 | Ameluca* | E-R | Alta | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 33 | Mecalapa* | E-R | Alta | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 50 | San Bartolo Tutotepec* | E-R | Alta | Alta | Alta | 0 | 0.01 | 0 |
| 4 | Banderas* | E-R | Media | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 5 | La Victoria (La Peñita) | R | Media | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 9 | Túxpam de Rodríguez Cano* | E-R | Media | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 11 | Potrero del Llano* | E-R | Media | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 17 | La Guásima* | E | Media | Alta | Alta | 0 | 4.63 | 1 |
| 19 | La Camelia (Palo Blanco) | E-R | Media | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 25 | Tzocohuite* | E-R | Media | Alta | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 31 | San Lorenzo Achioteppec | E-R | Alta | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 32 | San Francisco | E | Alta | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 40 | San José Naranjal* | E-R | Alta | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 42 | Huehuetla | E-R | Alta | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 43 | San Antonio El Grande | E-R | Alta | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 47 | Tlachichilco* | E-R | Alta | Media | Media | 1.12 | 0 | 0 |
| 12 | Álamo* | E-R | Media | Media | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 45 | Huayacocotla | E | Alta | Media | Baja | 4.24 | 0 | 1 |
| 13 | Estero del Ídolo | E | Baja | Media | Alta | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Tepetzintla | E | Media | Media | Media | 0 | 45.07 | 1 |
| 34 | Colatlán | E | Media | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 36 | Huitzitzilco* | E-R | Media | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 37 | San Gregorio* | E-R | Media | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 30 | Ixhuatlán de Madero* | E-R | Media | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 54 | Tenango de Doria | E | Media | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 1 | Estero de Milpas | R | Baja | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Cerro Azul | E | Baja | Media | Media | 0 | 0 | 0 |

| ID | Subcuenca | Tipo de subcuenca | CON | RES | APP | PSA (km ²) | ANP (km ²) | Subproyectos CONECTA |
|----|-----------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 18 | Vegas de la Soledad y Soledad Dos | E-R | Baja | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Tlacolula | E | Baja | Media | Media | 0 | 6.14 | 1 |
| 26 | Metlatoyuca* | E-R | Baja | Media | Media | 0 | 0 | 0 |
| 35 | Tenantitla | E | Media | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 38 | Chintipan | E-R | Media | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 41 | San Esteban | E | Media | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 44 | Papaloctipan | E | Media | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 48 | San Juan de las Flores | E-R | Media | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 49 | Xuchitlán | E | Media | Baja | Baja | 0 | 1.74 | 0 |
| 51 | San Pablo El Grande | E | Media | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 52 | Zacualpan | E | Media | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Tercera Vieja* | E-R | Baja | Media | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Castillo de Teayo | E | Baja | Baja | Media | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Venustiano Carranza | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Majahual* | E-R | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Temapache | E-R | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Vara Alta | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Francisco Villa | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Zapotitlán | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 20 | La Guadalupe | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 23 | El Mirador | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 1 |
| 24 | Ixcacuatitla | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 27 | Jaltocan | E-R | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 29 | Xochimilco | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 39 | Otatitlán | E-R | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |
| 46 | Texcatepec | E | Baja | Baja | Baja | 2.86 | 0 | 0 |
| 53 | Buena Vista | E | Baja | Baja | Baja | 0 | 0 | 0 |

* Subcuencas con mayor conectividad (grado e intermediación) de acuerdo con el análisis de redes.

PSA - Superficie de la cuenca del RT con esquemas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) registrados del 2018-2022 (SEMARNAT-CONAFOR, 2023)

ANP - Áreas Naturales Protegidas (SIGEIA-SEMARNAT, 2022)

Iniciativas del proyecto CONECTA impulsadas por el INECC-FMCN-FGM con apoyo de GEF-Banco Mundial (2022-2025) (Anexo 3).

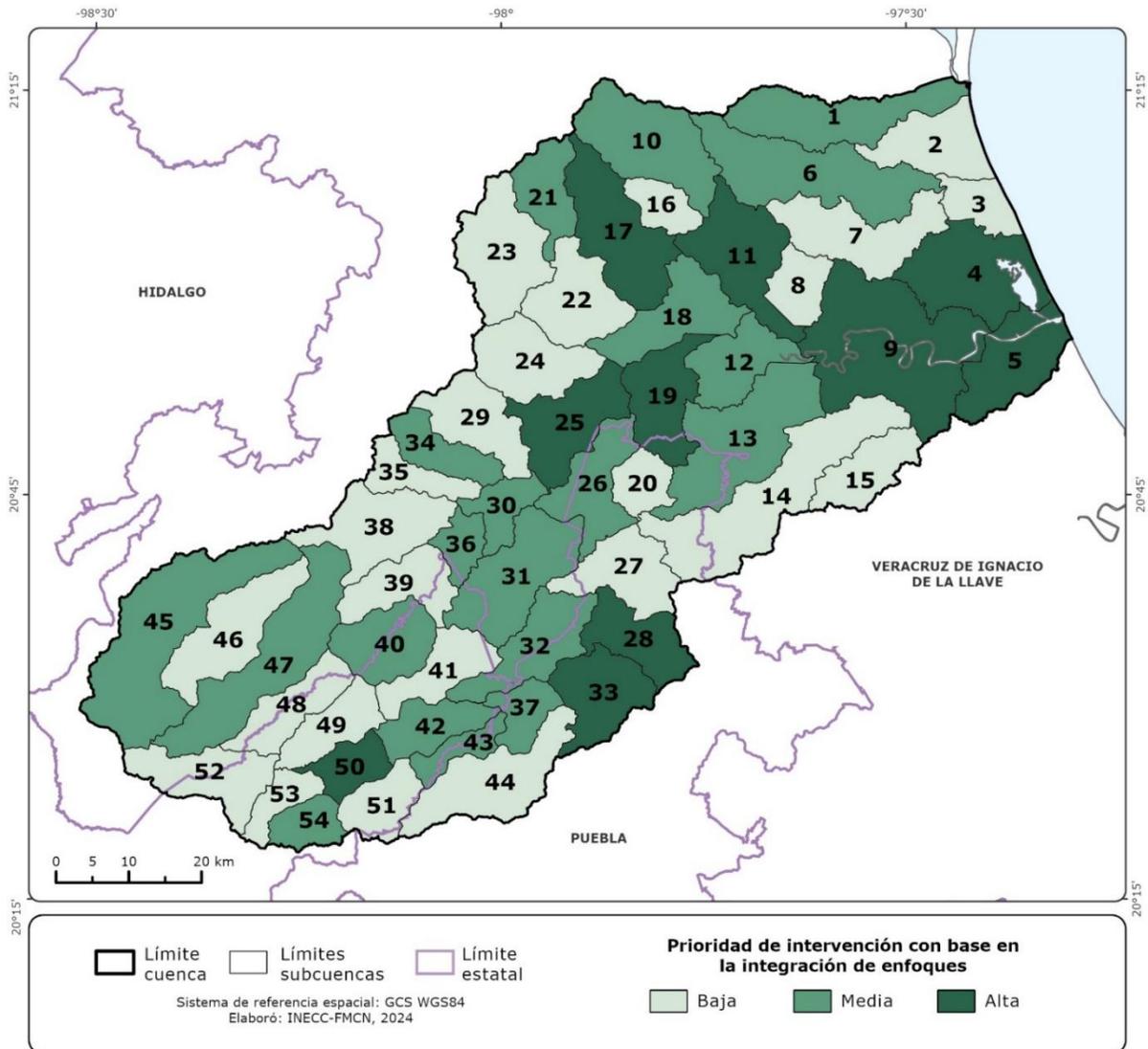


Fig. 39. Mapa de priorización de subcuencas con base en la integración de enfoques para focalizar actividades de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas en la cuenca del Río Tuxpan.

10. Conclusiones

Los resultados del PAMIC de la cuenca RT muestran que los SE de provisión de agua destacan principalmente en la parte media de la cuenca y en la Sierra de Otontepec, donde se registran los volúmenes más altos de precipitación. En la parte alta de la cuenca, caracterizada por coberturas de bosque mesófilo de montaña y pino sobre suelos delgados y poco desarrollados, las menores precipitaciones y temperaturas, junto con tasas elevadas de evapotranspiración, resultan en un menor rendimiento hídrico. Por otro lado, la retención de nutrientes y el control del transporte de sedimentos son significativamente mayores en la zona baja de la cuenca.

En cuanto a las actividades productivas en la cuenca alta, donde el clima es predominantemente templado húmedo y semicálido húmedo, se enfocan principalmente en los cultivos de maíz y café en menor proporción. En medida que se desciende a la parte media de la cuenca incrementa la proporción de pastizales.

En la cuenca media, el clima se caracteriza por ser cálido y húmedo, y predomina la asociación de cultivos de cítricos, maíz y caña. Además, se destaca una considerable proporción de pastizales dedicados a la ganadería bovina de doble propósito, en donde la principal actividad económica es la engorda de ganado para la producción de carne, que se destina principalmente a la exportación. Asimismo, se identifican cultivos para forraje y el uso de cercos vivos, los cuales se han sustituido por cercos de alambre debido a las sequías en la región.

Por último, en la parte baja de la cuenca, donde el clima es cálido subhúmedo, se siembra principalmente cítricos, así como maíz, vainilla, pipián y piña. No obstante, predomina la ganadería de pastoreo extensivo. Esta zona se especializa en el mejoramiento genético y en la producción de leche y carne destinada a otros estados. Asimismo, en las cercanías de Álamo Temapache y Tuxpam se ubican rastros y centros de acopio. Por otro lado, en la zona costera de la cuenca se han identificado diversos impactos ambientales, entre los que destacan la descarga de aguas residuales, el aumento de sedimentos y la intrusión salina. Estos factores han sido señalados como las principales causas de la pérdida de manglares y arrecifes en la región.

Estos cambios observados en las actividades económicas y patrones de cambio en el uso de suelo y vegetación podrían agravar los riesgos ambientales y sociales sino se fortalecen o implementan incentivos, apoyos, programas e instrumentos regulatorios con perspectiva de género, tanto a nivel local como regional. Las tendencias actuales de cambio de uso de suelo, en combinación con efectos del cambio climático como el aumento en la intensidad de las precipitaciones y la temperatura, apuntan a una agudización de los impactos y presiones que determinan el mantenimiento y provisión de los SE, lo que generará efectos potencialmente adversos en el

suministro y purificación de agua, control de inundaciones, provisión de alimentos, y secuestro de carbono, entre otros SE (IPBES, 2019).

Los modelos utilizados en el PAMIC son una representación simplificada de sistemas reales complejos a partir de escenarios contruidos para proyecciones futuras. En la guía metodológica también se puede consultar con mayor detalle del proceso de elaboración, modelación y análisis de los PAMIC, considerando sus alcances y limitaciones para una mejor interpretación en un contexto específico de toma de decisiones. (INECC-FMCN, 2023).

Los PAMIC identifican y analizan 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 SE relevantes, incorporando a su vez, escenarios de cambio climático y cambios potenciales de uso de suelo y vegetación. El proceso metodológico con enfoque de cuenca de los PAMIC se construyó 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).

Los resultados del PAMIC indican que el mayor rendimiento hídrico y recarga local, asociados con el SE de provisión de agua en la cuenca RT, se concentran principalmente en las subcuencas con mayor precipitación. En contraste, las subcuencas de la llanura costera, donde predominan las áreas de pastizales y cultivos agrícolas, presentan los niveles más bajos de rendimiento hídrico y recarga local, atribuibles a los altos niveles de evapotranspiración potencial y temperatura. Sin embargo, altos valores de escorrentía superficial o recarga local no implican necesariamente una mayor disponibilidad de agua para usos consuntivos, ya que esta disponibilidad depende de la infraestructura, redes de distribución y acuerdos locales, así como de la calidad del recurso hídrico. Por lo tanto, estas tendencias deben interpretarse en función de su interacción con otros SE como el control de la erosión, la retención de nutrientes, el almacenamiento de carbono, la prevención de inundaciones y los beneficios culturales (Brauman et al., 2014).

Por ejemplo, una mayor producción de agua o escorrentía en áreas sin vegetación puede aumentar la probabilidad de erosión del suelo, arrastre de sedimentos y comprometer la calidad del agua, incrementando el riesgo de azolvamiento o inundación, la pérdida de hábitats acuáticos y la disminución de servicios culturales (Carter Berry et al., 2020; Felipe-Lucia et al., 2018; Teixeira et al., 2019). Además, las interpretaciones de estos resultados deben considerar la potencial subestimación de los consumos de agua y la validación en campo de las tasas de evapotranspiración de los diferentes cultivos agrícolas, las cuales se modelaron considerando los valores promedio reportados en FAO (2006).

Las principales cargas de sedimentos, originadas por procesos de erosión hídrica del suelo, predominan en las subcuencas ubicadas en la zona alta de la cuenca RT, principalmente en las subcuencas: Zacualpan, San Bartolo Tutotepec, San Juan de las Flores, Buena Vista y Xuchitlán. Estas subcuencas se caracterizan por presentar pendientes pronunciadas y altos volúmenes de precipitación. Aunque predominan las coberturas de bosques y selvas, estas áreas se encuentran fragmentadas por la expansión de pastizales y zonas agrícolas. Estos resultados enfatizan la importancia de verificar los USV e implementar medidas de conservación en las regiones montañosas, así como en las zonas agrícolas localizadas sobre suelos frágiles y con pendientes pronunciadas. Es importante mencionar que la interpretación de los valores obtenidos mediante la ecuación RUSLE se deben hacer con fines comparativos, ya que el modelo empírico solo contempla la erosión laminar y en surcos, lo que podría sobreestimar los valores reales en pendientes pronunciadas y subestimarlos en pendientes bajas (Benavidez et al., 2018; Lianes et al., 2009).

Las zonas con mayores cargas de nutrientes, que pueden generar impactos negativos en la calidad de los cuerpos de agua, coinciden con áreas donde se aplican altas concentraciones de fertilizantes en los cultivos predominantes. De acuerdo con los resultados de las entrevistas en territorio y la agenda técnica agrícola del estado de Veracruz (INIFAP, 2017), los cultivos de caña, limón y naranja registran las mayores aplicaciones de fertilizantes, con un intervalo promedio de 155-300 y 65-100 kg/ha al año de compuestos de N y P, los cuales generalmente se aplican con base en el criterio de los productores.

En general, el INIFAP (2018) recomienda que los programas de fertilización se diseñen considerando las necesidades nutricionales de los cultivos, reciclaje, exportación en la cosecha y pérdidas a lo largo del ciclo productivo. Además, es fundamental complementar esta evaluación con herramientas como el análisis de suelo y la identificación de deficiencias nutricionales. Dependier exclusivamente de un solo método puede resultar inadecuado y potencialmente riesgoso. Por lo tanto, es fundamental promover la capacitación y acceso a diferentes metodologías para generar recomendaciones de fertilización más precisas y efectivas. De manera complementaria, el establecimiento de sistemas agroforestales que permitan la conservación y restauración del suelo, así como la producción diversificada y la elaboración de bioinsumos, son estrategias esenciales para reducir el uso de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas inorgánicos o químicos.

Ante estos resultados, el esquema de integración y análisis para la priorización territorial del PAMIC permite fortalecer la gestión integral de la cuenca RT a través de la focalización de acciones para la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los elementos y bienes comunes que intervienen en la provisión y mantenimiento de SE relevantes para la funcionalidad del

territorio. Estos resultados a nivel de subcuenca se complementaron con una caracterización socioeconómica que permitieron identificar la presencia de ciertos contextos marcados por desigualdades socioeconómicas y de género (p.ej. brechas de género en la distribución del trabajo no remunerado y en el acceso o control de recursos naturales, materiales, financieros e institucionales).

Con base en este esquema conceptual, se identificaron las subcuencas que serían prioritarias para llevar a cabo acciones de conservación, restauración o adecuación de prácticas productivas, como parte de la agenda ambiental de la cuenca RT. Algunas de estas actividades se enfocan en realizar actividades de mantenimiento a las restauraciones y reforestaciones; el control de especies invasoras; el establecimiento del esquema de PSA; la implementación de mejores prácticas agrícolas, como la diversificación y rotación de cultivos; la distribución estratégica de actividades para la captación de agua pluvial; el establecimiento de sistemas agroforestales de producción diversificada; la implementación de cercos vivos en predios ganaderos; el mejoramiento del manejo sanitario y reproductivo del ganado y la rehabilitación de pastizales con especies nativas.

No obstante, dadas las presiones identificadas en la cuenca del RT, es fundamental identificar e implementar acciones que se alineen con iniciativas y programas ya establecidos a nivel local y regional, como los descritos en el ANEXO 3 ANEXO 3. Esto incluye plataformas como la conformación de juntas intermunicipales de medio ambiente, el fortalecimiento de redes de colaboración e intercambio de experiencias, así como la promoción de sellos ganaderos, que incentiven mejores prácticas orientadas a mejorar el bienestar animal y la nutrición, al tiempo que priorizan el cuidado ambiental en el desarrollo de la actividad ganadera.

Los resultados generados a partir de la metodología, el conocimiento científico y la participación de las personas en los talleres realizados en la elaboración del PAMIC, requieren ser compartidos y apropiados por las personas, instituciones y organizaciones locales en un proceso de participación. Este proceso de comunicación y difusión de los resultados permitirá determinar sus acciones, visiones y capacidades dentro de las subcuencas prioritarias, identificando su coincidencia con aquellas que se definan desde lo territorial y donde existan las capacidades para la promoción de acciones, partiendo de la comprensión con una mayor corresponsabilidad territorial.

En resumen, los PAMIC brindan información relevante para la formulación de nuevos proyectos que se diseñen con base en las necesidades y prioridades del contexto territorial. El enfoque multidisciplinario espacialmente explícito ofrece información más completa e integral, lo que puede contribuir significativamente a mejorar los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de la cuenca RT. Asimismo, también resulta necesario promover o fortalecer mecanismos participativos como los Consejos y Comités de Cuenca, en los que se pueda contar con mayor

representatividad de pueblos originarios, afroamericanos, mujeres y jóvenes. Esto con el propósito de revisar el progreso y los resultados de los proyectos, clasificarlos en función de sus enfoques y objetivos, y priorizarlos conforme a planes estratégicos locales con una visión a largo plazo.

Finalmente, la promoción e implementación de prácticas sostenibles en el sector agrícola y ganadero, dependerá en gran medida de que, como sociedad, reconozcamos, valoremos y promovamos la conservación de los SE.

II. Recomendaciones y perspectivas a futuro

- Actualmente, la legislación federal relevante en materia ambiental y de desarrollo rural sustentable (DOF, 2018a, 2018b, 2012a, 1988) reconoce la importancia de la perspectiva de género (PdG), la participación de las mujeres y la igualdad sustantiva para la preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. La PdG es una metodología para reconocer las diferentes necesidades y capacidades las personas con la finalidad de catalizar condiciones de igualdad entre hombres y mujeres; lo cual permite fortalecer los procesos de gobernanza para alcanzar mejores resultados ambientales y sociales a largo plazo. Considerando lo anterior y de manera complementaria a los resultados del PAMIC, en el ANEXO 4 se pueden consultar algunas recomendaciones específicas para la transversalización de la perspectiva de género en iniciativas de restauración, conservación y adecuación de prácticas productivas.
- La construcción de la agenda ambiental para la cuenca RT también incorpora la identificación de programas y proyectos que contribuyen con los objetivos y alcances del PAMIC para promover la articulación de acciones en las subcuencas prioritarias. Esto permitirá orientar y planificar siguientes etapas dentro del marco de acción de los programas y proyectos locales para vincular a los actores e instituciones con inversiones que tomen en cuenta la necesidad de generar un balance entre las necesidades de la sociedad y el mantenimiento de los SE en el presente y futuro. En etapas subsecuentes, también será fundamental mantener actualizada la información y complementarla con la integración de nuevos programas y acciones que consideren la visión sistémica de los PAMIC y diferentes SE (p.ej. polinización, recreación, almacenamiento y captura de carbono), incluyendo otras fuentes de contaminación, actividades o eventos (p. ej. minería, turismo, tratamiento de aguas residuales, residuos sólidos) con impactos potenciales sobre los ecosistemas.
- El proceso de apropiación, comunicación y difusión de los resultados del PAMIC también permitirá fortalecer procesos de democratización, inclusión, vinculación, empoderamiento y transparencia en la toma de decisiones y la implementación de las acciones que actualmente se impulsan territorialmente dentro de sus consejos de cuenca y órganos auxiliares. En los siguientes pasos, será fundamental continuar involucrando a grupos en situación de mayor vulnerabilidad (pueblos originarios, afroamericanos, mujeres, jóvenes y organizaciones en zonas de muy alta marginación) y a mayor cantidad de representantes de sectores públicos, privados, académicos y empresariales.
- La interrelación existente entre los ecosistemas, sus SE y los sistemas sociales, productivos y económicos, debe reflejarse en instrumentos de planeación, en la selección de áreas prioritarias

para la implementación de acciones y en la toma de decisiones para la distribución de los recursos con una clara estrategia de seguimiento, monitoreo y evaluación. Por lo que, a futuro, resulta fundamental establecer de manera conjunta con otras instituciones públicas o privadas, el diseño de una estrategia de seguimiento y monitoreo que evalúe la respuesta de las acciones propuestas para el mantenimiento o mejoramiento de los SE relacionados con las actividades agropecuarias y agroforestales a nivel de cuenca hidrográfica, con agendas ambientales que favorezcan el manejo sostenible de los recursos hídricos inherentes a los sistemas socio-ecológicos.

- Los PAMIC representan una herramienta de diagnóstico, planeación y gestión del territorio que 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. Sin embargo, las personas encargadas de tomar decisiones deben definir de manera clara los objetivos y alcances, evaluar las características específicas de cada modelo en el contexto dado, y realizar una autoevaluación de sus recursos y habilidades técnicas para comprender y priorizar las necesidades particulares que se deben atender en cada una de las cuencas.
- 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.

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 período 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 períodos prolongados, generalmente décadas o períodos 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 períodos 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.

Conectividad ecológica. Se refiere a la conexión física y funcional entre diferentes hábitats y paisajes que permite el movimiento de especies y la transferencia de energía y nutrientes. La conectividad ecológica es esencial para el mantenimiento de la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas frente a las perturbaciones naturales y antropogénicas.

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.

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

- Ávila-García, D., Morató, J., Pérez-Maussán, A.I., Santillán-Carvantes, P., Alvarado, J., Comín, F.A., 2020. Impacts of alternative land-use policies on water ecosystem services in the Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello watershed, Mexico. *Ecosyst. Serv.* 45. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101179>
- 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.
- Basáñez, A. (2005). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Universidad Veracruzana. Veracruz, México.
- 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., 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>
- Bolaños, M., Paz, F., Cruz, C., Argumendo, J., Romero, V., De la Cruz, J., 2016. Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoam.* 34.
- 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).
- 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., Van Der Meulen, S., Brils, J., 2014. Ecosystem Services and River Basin Management, *Handbook of Environmental Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38598-8-10>
- Budyko, M.I., 1974. *Climate and Life*, Volume 18 - 1st Edition 507 pp.
- Carter Berry, Z., Jones, K.W., Gomez Aguilar, L.R., Congalton, R.G., Holwerda, F., Kolka, R., Looker, N., Lopez Ramirez, S.M., Manson, R., Mayer, A., Muñoz-Villers, L., Ortiz Colin, P., Romero-Urbe, H., Saenz, L., Von Thaden, J.J., Vizcaino Bravo, M.Q., Williams-Linera, G., Asbjornsen, H., 2020. Evaluating ecosystem service trade-offs along a land-use intensification gradient in central Veracruz, Mexico. *Ecosyst. Serv.* 45, 101181. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101181>
- Castro Mendoza, I., 2013. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ing. Hidráulica y Ambient.* 34, 3–16.
- CENAPRED, 2018. Monto ejecutado por municipios y declaratoria de desastres naturales FONDEN. URL <https://www.gob.mx/segob/documentos/fideicomiso-fondo-de-desastres-naturales-fonden>
- 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>
- Comín, F.A., Miranda, B., Sorando, R., Felipe-Lucia, M.R., Jiménez, J.J., Navarro, E., 2018. Prioritizing sites for ecological restoration based on ecosystem services. *J. Appl. Ecol.* 55, 1155–1163. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13061>
- Cheng, A.H.-D. et al., 1999. *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers-Concepts, Methods and Practices* E. Perez, ed. https://www.academia.edu/85022864/Seawater_Intrusion_in_Coastal_Aquifers_Concepts_Methods_and_Practices
- CONAFOR, 2023a. Programa de Pagos por Servicios Ambientales. URL <https://www.gob.mx/conafor/articulos/pago-por-servicios-ambientales-incentivos-economicos-para-la-conservacion-de-los-ecosistemas>
- CONAFOR. (2023b). Acciones de Restauración. *Noticiencia Forestal*, 3, 1–47. https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2023/Noticiencia_No_3_Acciones_Restauracion.pdf
- CONAFOR. (2023). Plataforma Geoespacial de Datos Forestales (IDEFOR). URL <https://idefor.cnf.gob.mx/>
- CONAFOR. (2022). Reglas de Operación 2023 del Programa Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar. <https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/adjuntos/c973f53fba23d9b486bd63939008b358.pdf>
- CONAGUA, 2021a. Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Comisión Nacional del Agua [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa-nacional-hidrico-2019-2024-190499> (accessed 10.12.22).

- CONAGUA, 2021b. Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) [WWW Document]. URL <https://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx> (accessed 12.1.21).
- CONAGUA. (2021c). Análisis de frecuencia e intensidad de ciclones tropicales en las cuencas de los municipios costeros. https://mapas.inecc.gob.mx/apps/SPCondicionesNA/Ciclones_Tropicales.html
- CONANP. 2014. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- CONEVAL, 2020. Medición de la pobreza en los municipios de México (2010-2020). Cons. Nac. Evaluación la Política Desarro. Soc. URL <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipio-2010-2020.aspx>
- Cotler, H., Cuevas, M., 2019. Adoption of soil conservation practices through knowledge governance: the Mexican experience. *J. Soil Sci. Environ. Manag.* 10.
- 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.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
- DOF, 2018a. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), Diario Oficial De La Federación.
- DOF, 2018b. Ley Agraria, Diario Oficial de la Federación (DOF). H. Congreso de la Unión, México.
- DOF, 2012a. Ley General de Cambio Climático (LGCC), Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión.
- DOF, 2012b. Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio [WWW Document]. D. Of. la Fed. SEMARNAT. URL https://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos_bitacora_oegt/dof_2012_09_07_poegt.pdf
- DOF. (2016). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Álamo-Tuxpan, clave 3014, en el Estado de Veracruz, Región Hidrológico-Administrativa Golfo Centro. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5444646&fecha=14/07/2016#gsc.tab=0
- DOF, 2006. Ley General para La Igualdad entre Mujeres y Hombres (LGIMH). Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión, México.
- 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.
- ESDIG-SEMARNAT, 2023. Espacio Digital Geográfico (ESDIG). URL <https://gisviewer.semarnat.gob.mx/geointegrador2Beta/index.html>
- ESRI, 2024. ArcGIS Pro 3.3.0.
- 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, 2016. Policy Analysis Paper: Mainstreaming of biodiversity and ecosystems services with a focus on pollination.
- FAO, 2006. Evapotranspiración del cultivo, Estudio FAO Riego y Drenaje. - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- FAO, 2009. Guía para la descripción de suelos. Organ. las Nac. Unidas para la Agric. y la Aliment. 111.
- Felipe-Lucia, M.R., Soliveres, S., Penone, C., Manning, P., van der Plas, F., Boch, S., Prati, D., Ammer, C., Schall, P., Gossner, M.M., Bauhus, J., Buscot, F., Blaser, S., Blüthgen, N., de Frutos, A., Ehbrecht, M., Frank, K., Goldmann, K., Hänsel, F., Jung, K., Kahl, T., Nauss, T., Oelmann, Y., Pena, R., Polle, A., Renner, S., Schloter, M., Schöning, I., Schruppf, M., Schulze, E.D., Solly, E., Sorkau, E., Stempfhuber, B., Tschapka, M., Weisser, W.W., Wubet, T., Fischer, M., Allan, E., 2018. Multiple forest attributes underpin the supply of multiple ecosystem services. *Nat. Commun.* 9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07082-4>
- 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) .
- Fundación Yezpe A.C. (n.d.). Reforestación. [WWW Document]. URL <http://www.tortugasfundacionyezpe.com/reforestacioacuten.html> (accessed 2.12.25)
- García, E., 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen [WWW Document]. Inst. Geogr. UNAM. URL <http://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf> (accessed 11.21.22).
- 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., Lanzanova, D., Liqueste, 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>
- 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. *Clim. Model.* URL <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/>.
- 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-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, México.
- 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/fichatecnica genero_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. Sist. MAD-Mex. URL https://monitoreo.conabio.gob.mx/snmb_charts/descarga_datos_madmex.html.
- INEGI-INE-CONAGUA, 2007. Cuencas Hidrográficas de México (1:250,000). URL https://idegeo.centrogeo.org.mx/layers/geonode%3Acue250k_07gw_rt/layer_info_metadata.
- INEGI, 2022a. 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, 2022b. Censo agropecuario 2022, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- 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 VII. [WWW Document]. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>.
- INEGI, 2016a. Actualización del Marco Censal Agropecuario 2016. URL <https://www.inegi.org.mx/programas/amca/2016/>
- INEGI, 2016b. Estudio de información integrada de la Cuenca Río Tuxpan Río Tuxpan. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825087463_1.pdf
- INEGI, 2015. Encuesta intercensal [WWW Document]. Encuesta intercensal. URL <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/> (accessed 7.17.23).
- INEGI, 2013a. Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 3.0). URL <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/?tg=1015>.
- INEGI, 2013b. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional. URL <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707>.
- 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. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>. URL <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>.
- INIFAP, 2017. Agenda técnica agrícola del estado de veracruz.
- INIFAP, 2018. Agendas Tecnológicas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. URL <https://www.gob.mx/inifap/acciones-y-programas/agendas-tecnologicas>.
- IPBES, 2022. The IPBES Methodological Assessment Report on the Diverse Value and Valuation. Balvanera P., Pascual U., Christie M., Baptiste B., González-Jiménez D.(eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.6522522> MEMBERS
- IPBES, 2019a. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES secretariat. Bonn, Germany.
- IPBES, 2019b. Summary for policy makers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany.
- 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. Intergov. Panel Clim. Chang. URL <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>.
- IPCC, 2022b. IPCC WGI Interactive Atlas. IPCC Work. Gr. I AR6. URL <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>.
- IPCC, 2021. AR6 Synthesis Report: Climate Change. Phys. Sci. Basis. URL <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>.
- IPCC, 2020. The IPCC and the Sixth Assessment cycle. Switzerland. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0496.1>
- 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/SR15_Glossary_spanish.pdf (accessed 10.21.22).
- IPCC, 2007. PF 1.1 - CIE WGI Preguntas Frecuentes [WWW Document]. IPCC Fourth Assess. Rep. Clim. Chang. URL https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/faq-1-1.html (accessed 12.9.22).
- IPCC, 2001. Cambio climático 2001: Informe de síntesis Resúmenes de los Grupos de trabajo Resúmenes de los Grupos de trabajo para responsables de políticas y resúmenes técnicos.
- 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>
- Koetse, M.J., Renes, G., Ruijs, A., de Zeeuw, A.J., 2018. Relative price increase 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>
- Lianes, E., Marchamalo, M., Roldán, M., 2009. Evaluación Del Factor C De La Rusle Para El Manejo De Coberturas Vegetales En El Control De La Erosión En. *Agron. Costarric.* <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/rac.v33i2>

- Loredo-Osti, 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., Rubín, 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>
- 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>
- 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.
- Mokondoko, P., Manson, R.H., Ricketts, T.H., Geissert, D., 2018. Spatial analysis of ecosystem service relationships to improve targeting of payments for hydrological services. *PLoS One* 13, 1–27. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192560>
- 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.
- Moreno-Casasola, P., y A. C. Travieso-Bello, 2006. “Las playas y dunas”. pp. 205-220. Moreno-Casasola, P. (ed). *Entornos Veracruzanos: la costa de La Mancha*. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México, 574 pp.
- NALCMS, 2015. Land Cover 30m, 2015 (Landsat and RapidEye). Edition 2. North Am. L. Chang. *Monit. Syst.* . URL <http://www.cec.org/north-american-environmental-atlas/land-cover-30m-2015-landsat-and-rapideye/>.
- 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.
- 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>
- 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>
- R Core Team, 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Found. Stat. Comput. Vienna, Austria.
- RAN, 2023. Registro Agrario Nacional. Gob. México. URL <https://phina.ran.gob.mx/index.php>.
- 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).
- 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>
- Reyes-Retana, G., Pons, G., Siegmann, K., Afif, Z., Gomez-Garcia, M., Soto-Mota, P., Farill, C.E.C., 2023. Using Behavioral Science to Increase Women's Participation in Natural Resource Management in Mexico. Policy Research Working Papers. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-10419>
- Rojas, A., 2021. Recomendaciones de las Ciencias del Comportamiento para el Diseño de programas de género transformadores.
- 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/ORNLDAAC/1566>
- SADER, 2018. Padrón Ganadero Nacional. URL <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/inscripcion-al-padron-ganadero-nacional>
- Salazar-Lizán, S. et al. 2013. La ganadería bovina: vulnerabilidad y mitigación. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana. Veracruz. <https://www.uv.mx/veracruz/cienciaanimal/files/2013/11/La-ganaderia-bovina-vulnerabilidad-y-mitigacion.pdf>
- Sandoval-Vázquez. 2021. El Sistema de Transporte de Gas Natural Tuxpan-Tula. En: Territorios del agua defensa de los ámbitos de comunidad en la Sierra de Puebla-Hidalgo y la historia compartida de sus pueblos (ante el gasoducto Tuxpan-Tula). <https://www.ceccam.org/territorios-agua/pdf/Libro-territorios-del-agua.pdf>
- 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. Infraestructura de Datos Espaciales Forestales- IDEFOR [WWW Document]. Com. Nac. For. URL <https://idefor.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.
- SIAP. (2024). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. URL <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- 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).
- TEEB, 2010. TEEB Foundations. *Econ. Ecosyst. Biodivers. Ecol. Econ. Found.* 1–422. <https://doi.org/10.1017/s1355770x11000088>
- Teixeira, H., Lillebo, A., Culhane, F., Robinson, L., Trauner, D., Borgwardt, F., 2019. Linking biodiversity to ecosystem services supply: Patterns across aquatic ecosystems. *Sci. Total Environ.* 657. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.440>
- 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>
- The World Bank Group, 2023. Climate Risk Country Profile: México. Washington, DC.
- UNIATMOS-UNAM, 2022. Cambios de temperatura y precipitación, horizonte medio 2041-2060. Repositorio. URL <https://ri.atmosfera.unam.mx/AR6/srv/eng/catalog.search#/metadata/0fdc6463-abdc-4608-8cd5-767bca0d1fed>.
- 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).
- Vergara, M. C., Ellis, E., Cruz-Aguilar, J. A., Alarcón, L. C., & Galván Del Moral, U. (2011). La conceptualización de las inundaciones y la percepción del riesgo ambiental. *Política y cultura*, 36, 45–69. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- 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>
- WMO, 2022. World Meteorological Organization [WWW Document]. Climate. URL <https://public.wmo.int/es/preguntas-frecuentes-clima> (accessed 12.9.22).
- 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>
- 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

Valores de los indicadores utilizados para la construcción y análisis del ICSE y brecha de género para las cuencas de la cuenca Río Tuxpan, Veracruz.

Tabla A1. Valores de indicadores utilizados para el cálculo de brecha de género, desagregados por sexo.

| Clave | Municipio | Habla lengua indígena | | Sin escolaridad | | Inactividad económica | | Trabajo no remunerado | | Sin servicio de salud | | Tenencia de la tierra | |
|-------|----------------------------------|-----------------------|------------|-----------------|------------|-----------------------|-----------|-----------------------|--------|-----------------------|-----------|-----------------------|-------|
| | | P3HLINHE_F | P3HLINHE_M | P15YM_SE_F | P15YM_SE_M | PE_INAC_F | PE_INAC_M | PTNR_M | PTNR_H | PSINDER_M | PSINDER_H | PPT_F | PPT_M |
| 13004 | Agua Blanca de Iturbide | 0.00 | 0.02 | 13.05 | 11.61 | 60.74 | 20.59 | 47.62 | 16.71 | 9.72 | 11.18 | 76.77 | 23.23 |
| 13027 | Huehuetla | 7.90 | 3.88 | 28.29 | 20.76 | 59.68 | 22.59 | 48.42 | 18.39 | 3.93 | 5.66 | 89.07 | 10.93 |
| 13053 | San Bartolo Tutotepec | 3.06 | 1.70 | 27.24 | 22.44 | 55.21 | 22.67 | 47.02 | 21.66 | 1.26 | 2.70 | 88.82 | 11.18 |
| 13060 | Tenango de Doria | 2.17 | 0.83 | 16.61 | 15.01 | 51.18 | 24.44 | 50.30 | 22.31 | 2.09 | 3.30 | 77.51 | 22.49 |
| 21064 | Francisco Z. Mena | 0.15 | 0.09 | 10.17 | 8.55 | 57.87 | 14.43 | 45.97 | 21.29 | 4.98 | 7.75 | 84.86 | 15.14 |
| 21086 | Jalpan | 0.10 | 0.06 | 15.56 | 12.60 | 64.78 | 22.34 | 48.47 | 24.88 | 5.10 | 7.28 | 72.73 | 27.27 |
| 21109 | Pahuatlán | 5.93 | 2.91 | 17.81 | 13.48 | 42.00 | 18.68 | 50.86 | 25.24 | 3.05 | 4.15 | 87.34 | 12.66 |
| 21111 | Pantepec | 2.76 | 1.08 | 22.70 | 16.48 | 61.11 | 19.27 | 47.80 | 18.28 | 3.98 | 6.34 | 72.07 | 27.93 |
| 21178 | Tlacuilotepec | 0.23 | 0.15 | 15.34 | 12.32 | 55.74 | 18.16 | 48.89 | 29.36 | 7.35 | 9.65 | 79.23 | 20.77 |
| 21187 | Tlaxco | 0.00 | 0.00 | 14.73 | 13.21 | 53.57 | 18.23 | 46.30 | 22.32 | 5.41 | 8.57 | 83.02 | 16.98 |
| 30027 | Benito Juárez | 14.34 | 6.21 | 15.68 | 8.63 | 67.82 | 29.82 | 47.89 | 22.57 | 4.27 | 5.12 | 97.97 | 2.03 |
| 30034 | Cerro Azul | 0.01 | 0.00 | 5.31 | 3.39 | 57.97 | 33.45 | 45.95 | 25.10 | 8.91 | 10.07 | 83.55 | 16.45 |
| 30058 | Chicontepec | 6.49 | 1.97 | 12.65 | 6.87 | 69.74 | 22.08 | 45.99 | 25.99 | 7.01 | 8.68 | 91.66 | 8.34 |
| 30072 | Huayacocotla | 0.07 | 0.04 | 13.13 | 11.24 | 60.36 | 23.77 | 49.17 | 27.37 | 8.87 | 10.06 | 83.93 | 16.07 |
| 30083 | Ixhuatlán de Madero | 7.34 | 2.52 | 17.38 | 9.59 | 67.00 | 20.86 | 47.44 | 25.16 | 4.86 | 6.13 | 87.50 | 12.50 |
| 30151 | Tamiahua | 0.03 | 0.00 | 9.21 | 7.39 | 65.96 | 22.45 | 45.57 | 29.17 | 6.76 | 9.58 | 88.71 | 11.29 |
| 30153 | Tancoco | 0.07 | 0.04 | 11.73 | 8.78 | 65.41 | 28.60 | 46.52 | 28.23 | 8.46 | 9.81 | 79.08 | 20.92 |
| 30157 | Castillo de Teayo | 0.14 | 0.17 | 10.86 | 9.26 | 70.12 | 20.19 | 45.80 | 28.98 | 7.20 | 10.57 | 88.08 | 11.92 |
| 30160 | Álamo Temapache | 0.20 | 0.07 | 8.81 | 7.14 | 63.25 | 19.30 | 46.10 | 26.37 | 8.39 | 10.98 | 86.61 | |
| 30167 | Tepetzintla | 0.11 | 0.07 | 9.02 | 6.43 | 63.79 | 22.70 | 45.32 | 18.26 | 9.15 | 10.93 | 92.36 | 13.39 |
| 30170 | Texcatepec | 15.04 | 8.70 | 33.32 | 27.55 | 90.63 | 46.66 | 43.13 | 10.65 | 6.83 | 7.24 | 77.91 | 7.64 |
| 30175 | Tihuatlán | 0.05 | 0.04 | 9.14 | 7.43 | 54.67 | 21.60 | 45.81 | 21.67 | 13.12 | 15.58 | 95.30 | 22.09 |
| 30180 | Tlachichilco | 3.27 | 0.99 | 25.16 | 18.62 | 89.37 | 34.12 | 46.32 | 25.83 | 2.19 | 3.04 | 83.91 | 4.70 |
| 30189 | Tuxpan | 0.01 | 0.00 | 4.84 | 3.76 | 53.89 | 25.78 | 45.94 | 26.46 | 11.25 | 12.23 | 90.57 | 16.09 |
| 30198 | Zacualpan | 0.00 | 0.03 | 23.24 | 18.12 | 68.31 | 23.29 | 47.39 | 23.72 | 6.56 | 8.58 | 94.22 | 9.43 |
| 30202 | Zontecomatlán de López y Fuentes | 10.16 | 4.26 | 25.61 | 17.86 | 91.17 | 39.15 | 47.34 | 20.95 | 4.75 | 5.26 | | 5.78 |

Definición de los indicadores: Todos los indicadores están expresados en porcentaje (%). La terminación **_F** indica que el indicador es de población femenina, la terminación **_M** indica que es de población masculina. **P5_HLI_NHE**-Población de 5 años o más que habla alguna lengua indígena y no habla español (INEGI, 2020) **P15YM_SE**-Población mayor de 15 años que no aprobó ningún grado escolar o solo tiene nivel preescolar (INEGI, 2020). **PE_INAC**- Población de más de 12 años de edad pensionadas o jubiladas; estudiantes; dedicadas a los quehaceres del hogar; incapacitadas permanentemente para trabajar; o que no trabajan (INEGI, 2020). **PTNR**- Población de 12 años y más que realiza trabajo no remunerado (INECC, 2015; INEGI, 2015). **PSINDER**- Población que no está afiliada a servicios médicos en ninguna institución pública o privada (INECC, 2015; INEGI, 2020, 2015). **PPT**: Porcentaje de personas ejidatarias desagregadas por sexo (INEGI, 2007).

Tabla A2. Valores de indicadores de etnicidad, educación, características económicas, servicios de salud, vivienda y tenencia de la tierra para el análisis del Índice de Caracterización Socioeconómica (ICSE).

| Municipio | P5_HLI_NHE | POB_AFRO | P15YM_SE | PE_INAC | PTNR | EST_PER_OCU | PSINDER | PRO_OCUP_C | VPH_PISOTI | VPH_S_ELEC | VPH_AGUAFV | VPH_LETR | VPH_NODREN | VPH_SNBIEN | PTT | Pobreza |
|----------------------------------|------------|----------|----------|---------|------|-------------|---------|------------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------|---------|
| Agua Blanca de Iturbide | 0.01 | 1.33 | 12.37 | 41.87 | 0.91 | 0 | 33.12 | 1.04 | 2.16 | 2.62 | 1.73 | 8.7 | 7.93 | 2.69 | 0.54 | 60.0 |
| Huehuetla | 6.16 | 3.69 | 24.71 | 41.94 | 0.88 | 1 | 12.67 | 1.19 | 7.12 | 2.4 | 16.72 | 16.38 | 10.86 | 11.89 | 0.78 | 75.8 |
| San Bartolo Tutotepec | 2.46 | 0.32 | 24.9 | 39.3 | 0.65 | 1 | 10.48 | 1.21 | 13.75 | 4.05 | 7.75 | 16.23 | 12.73 | 12 | 0.78 | 65.1 |
| Tenango de Doria | 1.57 | 1.61 | 15.85 | 38.52 | 0.8 | 0 | 12.53 | 1.06 | 3.9 | 1.29 | 1.56 | 8.22 | 5.32 | 4.99 | 0.55 | 63.5 |
| Francisco Z. Mena | 0.13 | 0.26 | 9.37 | 36.38 | 0.6 | 0 | 20.85 | 1.03 | 11.85 | 1.61 | 18.24 | 28.96 | 16.95 | 3.34 | 0.7 | 75.2 |
| Jalpan | 0.08 | 0.86 | 14.17 | 44.76 | 0.53 | 0 | 18.77 | 1.15 | 13.16 | 2.35 | 21.79 | 15.92 | 9.95 | 5.13 | 0.46 | 71.6 |
| Pahuatlán | 4.16 | 0.49 | 15.81 | 31.09 | 0.66 | 0 | 18.01 | 1.3 | 8.94 | 1.77 | 1.17 | 4.44 | 3.61 | 7.56 | 0.75 | 83.2 |
| Pantepec | 2.02 | 0.69 | 19.77 | 41.24 | 0.86 | 0 | 20.78 | 1.08 | 12.52 | 2.52 | 13.86 | 12.83 | 14.11 | 8.29 | 0.44 | 77.8 |
| Tlaciuilotepec | 0.19 | 0.58 | 13.87 | 37.33 | 0.27 | 0 | 20.25 | 1.16 | 6.39 | 1.82 | 22.27 | 14.64 | 12.06 | 9.48 | 0.59 | 83.9 |
| Tlaxco | 0 | 0.77 | 13.99 | 36.33 | 0.56 | 0 | 15.77 | 1.14 | 9.61 | 3.69 | 11.67 | 17.26 | 11.07 | 9.45 | 0.66 | 76.9 |
| Benito Juárez | 10.56 | 19.52 | 12.37 | 49.74 | 0.65 | 0 | 8.26 | 0.96 | 12.34 | 4.72 | 25.47 | 63.27 | 51.99 | 14 | 0.96 | 81.8 |
| Cerro Azul | 0 | 2.89 | 4.43 | 46.75 | 0.35 | 1 | 24.66 | 0.88 | 2.69 | 1.14 | 2.05 | 3.98 | 4.19 | 1.08 | 0.67 | 57.3 |
| Chicontepec | 4.43 | 0.84 | 9.88 | 46.84 | 0.29 | 0 | 17.33 | 0.9 | 10.73 | 1.85 | 16.27 | 63.25 | 47.56 | 4.43 | 0.83 | 73.2 |
| Huayacocotla | 0.06 | 1.89 | 12.24 | 43.03 | 0.41 | 0 | 27.94 | 1.02 | 3.4 | 3.46 | 5.88 | 24.41 | 14.24 | 3.01 | 0.68 | 78.3 |
| Ixhuatlán de Madero | 5.16 | 6.6 | 13.64 | 44.74 | 0.44 | 1 | 14.97 | 0.97 | 17.97 | 2.68 | 19.05 | 56.14 | 46.87 | 7.99 | 0.75 | 86.5 |
| Tamiahua | 0.01 | 34.07 | 8.31 | 44.29 | 0.12 | 2 | 26.25 | 0.93 | 3.11 | 1.99 | 34.83 | 26.36 | 26.95 | 2.99 | 0.77 | 62.7 |
| Tancoco | 0.06 | 2.66 | 10.33 | 47.99 | 0.2 | 0 | 23.68 | 0.99 | 4.67 | 1.46 | 8.07 | 23.97 | 14.06 | 2.41 | 0.58 | 64.1 |
| Castillo de Teayo | 0.16 | 1.6 | 10.07 | 45.27 | 0.14 | 0 | 31.73 | 1.02 | 7.76 | 1.62 | 58.19 | 27.13 | 23.83 | 2.73 | 0.76 | 69.0 |
| Álamo Temapache | 0.14 | 2.2 | 7.99 | 41.8 | 0.28 | 3 | 33.94 | 1.04 | 4.96 | 1.74 | 18.07 | 26.69 | 22.14 | 1.72 | NA | 63.4 |
| Tepetzintla | 0.1 | 0.53 | 7.76 | 43.77 | 0.75 | 0 | 36.36 | 1.13 | 12.08 | 1.69 | 5.47 | 30.54 | 25.37 | 3.2 | 0.73 | 80.9 |
| Texcatepec | 12.11 | 0.59 | 30.54 | 69.34 | 0.95 | 0 | 16.2 | 1.08 | 10.33 | 5.4 | 19.78 | 72.38 | 73.37 | 15.31 | 0.85 | 93.2 |
| Tihuatlán | 0.04 | 1.62 | 8.33 | 38.9 | 0.57 | 1 | 33.02 | 1.12 | 7.78 | 1.71 | 23.53 | 17.79 | 15.16 | 2.43 | 0.56 | 68.7 |
| Tlachichilco | 2.25 | 0.98 | 22.03 | 62.81 | 0.32 | 0 | 16.58 | 0.92 | 13.12 | 3.87 | 27.5 | 61.8 | 58.2 | 12.81 | 0.91 | 85.3 |
| Tuxpan | 0.01 | 2.16 | 4.33 | 40.54 | 0.26 | 12 | 27.2 | 0.96 | 3.36 | 0.79 | 11.76 | 10.38 | 7.23 | 0.87 | 0.68 | 45.3 |
| Zacualpan | 0.02 | 0.34 | 20.82 | 46.94 | 0.54 | 0 | 25.1 | 1.05 | 7.41 | 7.48 | 4.74 | 26.25 | 17.19 | 8.5 | 0.81 | 81.0 |
| Zontecomatlán de López y Fuentes | 7.4 | 0.4 | 21.92 | 66.12 | 0.71 | 0 | 8.97 | 1.17 | 13.7 | 7.2 | 21.15 | 72.14 | 57.91 | 25.68 | 0.88 | 91.9 |

Definición de los indicadores (Porcentaje %): **P5_HLI_NHE**- Población que habla alguna lengua indígena (INEGI, 2020). **POB_AFRO**- Población que se considera afroamericana o afrodescendiente (INEGI, 2020). **P15YM_SE**- Población mayor de 15 años que no aprobó ningún grado escolar o solo tiene nivel preescolar (INEGI, 2020). **PE_INAC**- Población de más de 12 años de edad pensionadas o jubiladas; estudiantes; dedicadas a los quehaceres del hogar; incapacitadas permanentemente para trabajar; o que no trabajan (INEGI, 2020). **PTNR**- Población de 12 años y más que realiza trabajo no remunerado (INECC, 2015; INEGI, 2015). **EST_PER_OCU**: Número de unidades económicas (UE) con más de 250 personas empleadas (INEGI, 2022a). **PSINDER**- Población que no está afiliada a servicios médicos en ninguna institución pública o privada (INECC, 2015; INEGI, 2020, 2015). **PRO_OCUP_C**- Ocupación de viviendas particulares (INEGI, 2020). **VPH_PISOTI**- Viviendas con piso de tierra (INEGI, 2020). **VPH_S_ELEC**- Viviendas sin energía eléctrica (INEGI, 2020). **VPH_AGUAFV**- Viviendas sin agua entubada (INEGI, 2020). **VPH_LETR**- Viviendas con letrina (pozo u hoyo) (INEGI, 2020). **VPH_NODREN**-Viviendas sin drenaje (INEGI, 2020). **VPH_SNBIEN**- Viviendas sin bienes materiales (INEGI, 2020). **Pobreza**- Población en situación de pobreza (CONEVAL, 2021).

Tabla A3. Valores de ponderación municipal para la interpretación del ICSE y brecha de género a nivel de subcuenca.

| ID | Subcuenca | Área (ha) | Municipio | Área municipal dentro de la cuenca (ha) | Proporción Municipio | ICSE Municipio | Proporción-ICSE | ICSE (Tuxpan) | Brecha Municipio | Proporción-Brecha | Brecha (Tuxpan) |
|----|--------------------------|-----------|-------------------|---|----------------------|----------------|-----------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | ESTERO DE MILPAS | 16547.27 | Tamiahua | 15749.49 | 0.95 | 0.50 | 0.48 | 0.50 | 0.50 | 0.48 | 0.48 |
| | | | Tancoco | 736.35 | 0.04 | 0.75 | 0.03 | | 0.25 | 0.01 | |
| | | | Álamo Temapache | 47.84 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.50 | 0.00 | |
| 2 | VENUSTIANO CARRANZA | 11290.29 | Tamiahua | 11237.18 | 1.00 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | | | | | | | | | | | |
| 3 | MAJAHUAL | 5857.09 | Tamiahua | 1592.54 | 0.27 | 0.50 | 0.14 | 0.32 | 0.50 | 0.14 | 0.32 |
| | | | Tuxpan | 4233.11 | 0.72 | 0.25 | 0.18 | | 0.25 | 0.18 | |
| 4 | BANDERAS | 18659.50 | Tuxpan | 18645.23 | 1.00 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 5 | LA VICTORIA (LA PEÑITA) | 13767.61 | Tuxpan | 13745.75 | 1.00 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| 6 | CERRO AZUL | 22659.35 | Cerro Azul | 2520.71 | 0.11 | 0.50 | 0.06 | 0.48 | 0.25 | 0.03 | 0.44 |
| | | | Tamiahua | 7456.51 | 0.33 | 0.50 | 0.17 | | 0.50 | 0.17 | |
| | | | Tancoco | 449.19 | 0.02 | 0.75 | 0.02 | | 0.25 | 0.01 | |
| | | | Álamo Temapache | 10127.55 | 0.45 | 0.50 | 0.23 | | 0.50 | 0.23 | |
| | | | Tuxpan | 2098.82 | 0.09 | 0.25 | 0.02 | | 0.25 | 0.02 | |
| 7 | TEMAPACHE | 15140.25 | Tamiahua | 72.48 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.38 | 0.50 | 0.00 | 0.38 |
| | | | Álamo Temapache | 8200.32 | 0.54 | 0.50 | 0.27 | | 0.50 | 0.27 | |
| | | | Tuxpan | 6863.76 | 0.45 | 0.25 | 0.11 | | 0.25 | 0.11 | |
| 8 | VARA ALTA | 6342.14 | Álamo Temapache | 6340.14 | 1.00 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 9 | TUXPAM DE RODRIGUEZ CANO | 34619.61 | Tehuacán | 1103.41 | 0.03 | 0.50 | 0.02 | 0.35 | 0.50 | 0.02 | 0.35 |
| | | | Álamo Temapache | 13016.79 | 0.38 | 0.50 | 0.19 | | 0.50 | 0.19 | |
| | | | Tuxpan | 20492.04 | 0.59 | 0.25 | 0.15 | | 0.25 | 0.15 | |
| 10 | TEPETZINTLA | 18071.65 | Cerro Azul | 6263.39 | 0.35 | 0.50 | 0.18 | 0.50 | 0.25 | 0.09 | 0.50 |
| | | | Tepetzintla | 8864.76 | 0.49 | 0.50 | 0.25 | | 0.75 | 0.37 | |
| | | | Tancoco | 1369.01 | 0.08 | 0.75 | 0.06 | | 0.25 | 0.02 | |
| | | | Álamo Temapache | 749.19 | 0.04 | 0.50 | 0.02 | | 0.50 | 0.02 | |
| | | | | | | | | | | | |
| 11 | POTRERO DEL LLANO | 15564.97 | Cerro Azul | 111.83 | 0.01 | 0.50 | 0.01 | 0.50 | 0.25 | 0.00 | 0.50 |
| | | | Álamo Temapache | 15447.78 | 0.99 | 0.50 | 0.50 | | 0.50 | 0.50 | |
| 12 | ALAMO | 10465.96 | Álamo Temapache | 10462.22 | 1.00 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 13 | ESTERO DEL IDOLO | 22793.30 | Francisco Z. Mena | 5736.33 | 0.25 | 0.25 | 0.06 | 0.44 | 0.75 | 0.19 | 0.61 |
| | | | Castillo de Teayo | 4335.85 | 0.19 | 0.50 | 0.10 | | 0.75 | 0.14 | |
| | | | Álamo Temapache | 12713.22 | 0.56 | 0.50 | 0.28 | | 0.50 | 0.28 | |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------------|----------|---------------------|----------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|
| 14 | CASTILLO DE TEAYO | 27248.87 | Francisco Z. Mena | 5594.78 | 0.21 | 0.25 | 0.05 | 0.45 | 0.75 | 0.16 | 0.70 |
| | | | Tihuatlán | 1351.07 | 0.05 | 0.50 | 0.03 | | 0.50 | 0.03 | |
| | | | Castillo de Teayo | 15133.49 | 0.56 | 0.50 | 0.28 | | 0.75 | 0.42 | |
| | | | Álamo Temapache | 4988.20 | 0.18 | 0.50 | 0.09 | | 0.50 | 0.09 | |
| | | | Tuxpan | 172.50 | 0.01 | 0.25 | 0.00 | | 0.25 | 0.00 | |
| 15 | FRANCISCO VILLA | 9026.60 | Tihuatlán | 7529.32 | 0.83 | 0.50 | 0.42 | 0.50 | 0.50 | 0.42 | 0.53 |
| | | | Castillo de Teayo | 1332.47 | 0.15 | 0.50 | 0.08 | | 0.75 | 0.11 | |
| | | | Álamo Temapache | 10.98 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.50 | 0.00 | |
| 16 | ZAPOTITLAN | 5052.50 | Tuxpan | 151.70 | 0.02 | 0.25 | 0.01 | 0.50 | 0.25 | 0.01 | 0.63 |
| | | | Tepetzintla | 2687.38 | 0.53 | 0.50 | 0.27 | | 0.75 | 0.40 | |
| | | | Álamo Temapache | 2363.02 | 0.47 | 0.50 | 0.24 | | 0.50 | 0.24 | |
| 17 | LA GUASIMA | 17725.83 | Chicontepec | 908.85 | 0.05 | 0.50 | 0.03 | 0.50 | 0.75 | 0.04 | 0.62 |
| | | | Tepetzintla | 7537.25 | 0.43 | 0.50 | 0.22 | | 0.75 | 0.32 | |
| | | | Álamo Temapache | 9271.74 | 0.52 | 0.50 | 0.26 | | 0.50 | 0.26 | |
| 18 | VEGAS DE LA SOLEDAD Y SOLEDAD DOS | 12977.57 | Chicontepec | 265.37 | 0.02 | 0.50 | 0.01 | 0.50 | 0.75 | 0.02 | 0.50 |
| | | | Álamo Temapache | 12706.91 | 0.98 | 0.50 | 0.49 | | 0.50 | 0.49 | |
| 19 | LA CAMELIA (PALO BLANCO) | 11843.47 | Francisco Z. Mena | 1869.18 | 0.16 | 0.25 | 0.04 | 0.46 | 0.75 | 0.12 | 0.54 |
| | | | Álamo Temapache | 9969.42 | 0.84 | 0.50 | 0.42 | | 0.50 | 0.42 | |
| 20 | LA GUADALUPE | 5438.88 | Francisco Z. Mena | 5433.06 | 1.00 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| | | | Álamo Temapache | 3.48 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.50 | 0.00 | |
| 21 | TLACOLULA | 8484.30 | Chicontepec | 5287.46 | 0.62 | 0.50 | 0.31 | 0.50 | 0.75 | 0.47 | 0.75 |
| | | | Tepetzintla | 3184.82 | 0.38 | 0.50 | 0.19 | | 0.75 | 0.29 | |
| 22 | TECERCA VIEJA | 12529.41 | Chicontepec | 8460.02 | 0.68 | 0.50 | 0.34 | 0.50 | 0.75 | 0.51 | 0.67 |
| | | | Álamo Temapache | 4063.37 | 0.32 | 0.50 | 0.16 | | 0.50 | 0.16 | |
| 23 | EL MIRADOR | 15927.69 | Chicontepec | 15919.21 | 1.00 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| 24 | IXCACUATITLA | 12872.62 | Chicontepec | 12537.87 | 0.97 | 0.50 | 0.49 | 0.50 | 0.75 | 0.73 | 0.75 |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 133.26 | 0.01 | 0.50 | 0.01 | | 1.00 | 0.01 | |
| | | | Álamo Temapache | 194.89 | 0.02 | 0.50 | 0.01 | | 0.50 | 0.01 | |
| 25 | TZOCOHUITE | 13533.05 | Francisco Z. Mena | 124.39 | 0.01 | 0.25 | 0.00 | 0.50 | 0.75 | 0.01 | 0.74 |
| | | | Chicontepec | 1557.18 | 0.12 | 0.50 | 0.06 | | 0.75 | 0.09 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 5696.12 | 0.42 | 0.50 | 0.21 | | 1.00 | 0.42 | |
| | | | Álamo Temapache | 6148.79 | 0.45 | 0.50 | 0.23 | | 0.50 | 0.23 | |
| 26 | METLALTOYUCA | 11497.88 | Francisco Z. Mena | 8505.81 | 0.74 | 0.25 | 0.19 | 0.31 | 0.75 | 0.56 | 0.77 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------|----------|-----------------------|----------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|
| | | | Pantepec | 51.63 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.75 | 0.00 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 2097.10 | 0.18 | 0.50 | 0.09 | | 1.00 | 0.18 | |
| | | | Álamo Temapache | 837.97 | 0.07 | 0.50 | 0.04 | | 0.50 | 0.04 | |
| 27 | JALTOCAN | 11472.19 | Francisco Z. Mena | 9080.71 | 0.79 | 0.25 | 0.20 | 0.30 | 0.75 | 0.59 | 0.77 |
| | | | Pantepec | 1383.78 | 0.12 | 0.50 | 0.06 | | 0.75 | 0.09 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 1002.62 | 0.09 | 0.50 | 0.05 | | 1.00 | 0.09 | |
| 28 | AMELUCA | 10194.00 | Francisco Z. Mena | 914.24 | 0.09 | 0.25 | 0.02 | 0.41 | 0.75 | 0.07 | 0.65 |
| | | | Pantepec | 7908.39 | 0.78 | 0.50 | 0.39 | | 0.75 | 0.59 | |
| 29 | XOCHIMILCO | 11226.25 | Benito Juárez | 7.20 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 0.50 | 0.75 | 0.00 | 0.97 |
| | | | Chicontepec | 1192.68 | 0.11 | 0.50 | 0.06 | | 0.75 | 0.08 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 10020.22 | 0.89 | 0.50 | 0.45 | | 1.00 | 0.89 | |
| 30 | IXHUATLAN DE MADERO | 5912.00 | Ixhuatlán de Madero | 5908.86 | 1.00 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 31 | SAN LORENZO ACHIOTEPEC | 17345.55 | Huehuetla | 2404.57 | 0.14 | 0.75 | 0.11 | 0.52 | 1.00 | 0.14 | 0.98 |
| | | | Francisco Z. Mena | 606.76 | 0.03 | 0.25 | 0.01 | | 0.75 | 0.02 | |
| | | | Pantepec | 71.52 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.75 | 0.00 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 14253.66 | 0.82 | 0.50 | 0.41 | | 1.00 | 0.82 | |
| 32 | SAN FRANCISCO | 12408.03 | Huehuetla | 1806.15 | 0.15 | 0.75 | 0.11 | 0.54 | 1.00 | 0.15 | 0.91 |
| | | | San Bartolo Tutotepec | 280.26 | 0.02 | 0.75 | 0.02 | | 0.75 | 0.02 | |
| | | | Pantepec | 4118.58 | 0.33 | 0.50 | 0.17 | | 0.75 | 0.25 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 6196.73 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | | 1.00 | 0.50 | |
| 33 | MECAPALAPA | 12047.36 | Pantepec | 7460.80 | 0.62 | 0.50 | 0.31 | 0.49 | 0.75 | 0.47 | 0.64 |
| | | | Jalpan | 4205.67 | 0.35 | 0.50 | 0.18 | | 0.50 | 0.18 | |
| | | | Tlacuilotepic | 155.64 | 0.01 | 0.25 | 0.00 | | 0.25 | 0.00 | |
| 34 | COLATLAN | 7535.20 | Benito Juárez | 772.57 | 0.10 | 0.75 | 0.08 | 0.52 | 0.75 | 0.08 | 0.98 |
| | | | Chicontepec | 1.56 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.75 | 0.00 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 6756.78 | 0.90 | 0.50 | 0.45 | | 1.00 | 0.90 | |
| 35 | TENANTITLA | 6132.77 | Benito Juárez | 3833.96 | 0.63 | 0.75 | 0.47 | 0.66 | 0.75 | 0.47 | 0.84 |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 2295.21 | 0.37 | 0.50 | 0.19 | | 1.00 | 0.37 | |
| 36 | HUITZITZILCO | 4466.91 | Huehuetla | 403.60 | 0.09 | 0.75 | 0.07 | 0.52 | 1.00 | 0.09 | 1.00 |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 4060.82 | 0.91 | 0.50 | 0.46 | | 1.00 | 0.91 | |
| 37 | SAN GREGORIO | 5755.64 | Huehuetla | 593.43 | 0.10 | 0.75 | 0.08 | 0.51 | 1.00 | 0.10 | 0.58 |
| | | | Pantepec | 998.49 | 0.17 | 0.50 | 0.09 | | 0.75 | 0.13 | |
| | | | Jalpan | 3852.78 | 0.67 | 0.50 | 0.34 | | 0.50 | 0.34 | |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------|----------|----------------------------------|----------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|
| 38 | CHINTIPAN | 14584.97 | Tlacuilotepec | 307.97 | 0.05 | 0.25 | 0.01 | 0.66 | 0.25 | 0.01 | 0.82 |
| | | | Benito Juárez | 2069.02 | 0.14 | 0.75 | 0.11 | | 0.75 | 0.11 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 4592.59 | 0.31 | 0.50 | 0.16 | | 1.00 | 0.31 | |
| | | | Tlachichilco | 5548.61 | 0.38 | 0.75 | 0.29 | | 0.75 | 0.29 | |
| 39 | OTATITLAN | 9778.29 | Zontecomatlán de López y Fuentes | 2365.90 | 0.16 | 0.75 | 0.12 | 0.66 | 0.75 | 0.12 | 0.89 |
| | | | Huehuetla | 2039.91 | 0.21 | 0.75 | 0.16 | | 1.00 | 0.21 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 3312.27 | 0.34 | 0.50 | 0.17 | | 1.00 | 0.34 | |
| | | | Tlachichilco | 4420.32 | 0.45 | 0.75 | 0.34 | | 0.75 | 0.34 | |
| 40 | SAN JOSE NARANJAL | 11071.66 | Huehuetla | 408.89 | 0.04 | 0.75 | 0.03 | 0.76 | 1.00 | 0.04 | 0.77 |
| | | | San Bartolo Tutotepec | 5501.76 | 0.50 | 0.75 | 0.38 | | 0.75 | 0.38 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 111.51 | 0.01 | 0.50 | 0.01 | | 1.00 | 0.01 | |
| | | | Tlachichilco | 5042.84 | 0.46 | 0.75 | 0.35 | | 0.75 | 0.35 | |
| 41 | SAN ESTEBAN | 9098.98 | Huehuetla | 4029.75 | 0.44 | 0.75 | 0.33 | 0.74 | 1.00 | 0.44 | 0.87 |
| | | | San Bartolo Tutotepec | 4622.00 | 0.51 | 0.75 | 0.38 | | 0.75 | 0.38 | |
| | | | Ixhuatlán de Madero | 442.05 | 0.05 | 0.50 | 0.03 | | 1.00 | 0.05 | |
| 42 | HUEHUETLA | 7959.50 | Huehuetla | 5662.20 | 0.71 | 0.75 | 0.53 | 0.75 | 1.00 | 0.71 | 0.92 |
| | | | San Bartolo Tutotepec | 2246.95 | 0.28 | 0.75 | 0.21 | | 0.75 | 0.21 | |
| | | | Jalpan | 45.77 | 0.01 | 0.50 | 0.01 | | 0.50 | 0.01 | |
| 43 | SAN ANTONIO EL GRANDE | 4431.09 | Huehuetla | 2343.54 | 0.53 | 0.75 | 0.40 | 0.60 | 1.00 | 0.53 | 0.73 |
| | | | Tenango de Doria | 0.22 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.25 | 0.00 | |
| | | | Jalpan | 333.85 | 0.08 | 0.50 | 0.04 | | 0.50 | 0.04 | |
| | | | Tlacuilotepec | 697.34 | 0.16 | 0.25 | 0.04 | | 0.25 | 0.04 | |
| | | | Tlaxco | 1053.67 | 0.24 | 0.50 | 0.12 | | 0.50 | 0.12 | |
| 44 | PAPALOCTIPAN | 16394.46 | Huehuetla | 0.19 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 0.36 | 1.00 | 0.00 | 0.37 |
| | | | Tenango de Doria | 15.13 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.25 | 0.00 | |
| | | | Pahuatlán | 752.01 | 0.05 | 0.25 | 0.01 | | 0.50 | 0.03 | |
| | | | Pantepec | 2.65 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | | 0.75 | 0.00 | |
| | | | Jalpan | 2480.88 | 0.15 | 0.50 | 0.08 | | 0.50 | 0.08 | |
| | | | Tlacuilotepec | 8712.90 | 0.53 | 0.25 | 0.13 | | 0.25 | 0.13 | |
| | | | Tlaxco | 4421.91 | 0.27 | 0.50 | 0.14 | | 0.50 | 0.14 | |
| 45 | HUAYACOCOTLA | 30358.00 | Huayacocotla | 21970.09 | 0.72 | 0.50 | 0.36 | 0.58 | 0.25 | 0.18 | 0.40 |
| | | | Texcatepec | 6035.62 | 0.20 | 0.75 | 0.15 | | 0.75 | 0.15 | |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------|----------|----------------------------------|----------|------|------|------|-------------|------|------|-------------|
| | | | Zacualpan | 1468.43 | 0.05 | 1.00 | 0.05 | 1.00 | 0.05 | | |
| | | | Zontecomatlán de López y Fuentes | 862.41 | 0.03 | 0.75 | 0.02 | 0.75 | 0.02 | | |
| 46 | TEXCATEPEC | 14761.58 | Huayacocotla | 161.21 | 0.01 | 0.50 | 0.01 | 0.84 | 0.25 | 0.00 | 0.84 |
| | | | Texcatepec | 9269.95 | 0.63 | 0.75 | 0.47 | 0.75 | 0.47 | | |
| | | | Zacualpan | 5320.38 | 0.36 | 1.00 | 0.36 | 1.00 | 0.36 | | |
| 47 | TLACHICHILCO | 22886.24 | Huayacocotla | 49.95 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.90 | 0.25 | 0.00 | 0.90 |
| | | | Texcatepec | 3754.38 | 0.16 | 0.75 | 0.12 | 0.75 | 0.12 | | |
| | | | Tlachichilco | 5310.60 | 0.23 | 0.75 | 0.17 | 0.75 | 0.17 | | |
| | | | Zacualpan | 13395.06 | 0.59 | 1.00 | 0.59 | 1.00 | 0.59 | | |
| | | | Zontecomatlán de López y Fuentes | 361.10 | 0.02 | 0.75 | 0.02 | 0.75 | 0.02 | | |
| 48 | SAN JUAN DE LAS FLORES | 9516.79 | San Bartolo Tutotepec | 5087.54 | 0.53 | 0.75 | 0.40 | 0.81 | 0.75 | 0.40 | 0.81 |
| | | | Tlachichilco | 2238.17 | 0.24 | 0.75 | 0.18 | 0.75 | 0.18 | | |
| | | | Zacualpan | 2184.88 | 0.23 | 1.00 | 0.23 | 1.00 | 0.23 | | |
| 49 | XUCHITLAN | 8257.75 | San Bartolo Tutotepec | 8252.55 | 1.00 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| 50 | SAN BARTOLO TUTOTEPEC | 5907.29 | Huehuetla | 783.78 | 0.13 | 0.75 | 0.10 | 0.71 | 1.00 | 0.13 | 0.71 |
| | | | San Bartolo Tutotepec | 4264.68 | 0.72 | 0.75 | 0.54 | 0.75 | 0.54 | | |
| | | | Tenango de Doria | 855.16 | 0.14 | 0.50 | 0.07 | 0.25 | 0.04 | | |
| 51 | SAN PABLO EL GRANDE | 7457.79 | Huehuetla | 903.72 | 0.12 | 0.75 | 0.09 | 0.51 | 1.00 | 0.12 | 0.36 |
| | | | Tenango de Doria | 5943.37 | 0.80 | 0.50 | 0.40 | 0.25 | 0.20 | | |
| | | | Pahuatlán | 549.80 | 0.07 | 0.25 | 0.02 | 0.50 | 0.04 | | |
| | | | Tlacuilotepic | 56.40 | 0.01 | 0.25 | 0.00 | 0.25 | 0.00 | | |
| 52 | ZACUALPAN | 12369.93 | Agua Blanca de Iturbide | 4820.64 | 0.39 | 0.25 | 0.10 | 0.60 | 0.25 | 0.10 | 0.56 |
| | | | San Bartolo Tutotepec | 1864.97 | 0.15 | 0.75 | 0.11 | 0.75 | 0.11 | | |
| | | | Huayacocotla | 1690.87 | 0.14 | 0.50 | 0.07 | 0.25 | 0.04 | | |
| | | | Zacualpan | 3984.44 | 0.32 | 1.00 | 0.32 | 1.00 | 0.32 | | |
| 53 | BUENA VISTA | 4919.10 | Agua Blanca de Iturbide | 0.66 | 0.00 | 0.25 | 0.00 | 0.69 | 0.25 | 0.00 | 0.63 |
| | | | San Bartolo Tutotepec | 3742.31 | 0.76 | 0.75 | 0.57 | 0.75 | 0.57 | | |
| | | | Tenango de Doria | 1159.41 | 0.24 | 0.50 | 0.12 | 0.25 | 0.06 | | |
| 54 | TENANGO DE DORIA | 5383.21 | San Bartolo Tutotepec | 1.97 | 0.00 | 0.75 | 0.00 | 0.50 | 0.75 | 0.00 | 0.25 |
| | | | Tenango de Doria | 5377.78 | 1.00 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | | |

Proporción-ICSE y brecha municipal: Resultado de la relación entre la proporción y el ICSE o brecha de género a nivel municipal.

ANEXO 2

Resumen de parámetros para cada uno de los modelos InVEST Cuenca del Río Tuxpan

Los parámetros biofísicos y las diferentes fuentes de información requeridas por cada uno de los módulos se resumen en la Tabla A2. Descripciones más detalladas de cada uno de los modelos se pueden consultar en 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 A2. 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); SIAP (2024); Imágenes satelitales (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI), y 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 vectoriales edafológicos. 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>) |

ANEXO 3

Catálogo de proyectos

Tabla A3. Descripción general de proyectos que contribuyen con los objetivos y alcances del PAMIC. CON = Conservación, RES = Restauración, APP = Adecuación de prácticas productivas¹.

| Institución o Fuente | Nombre del programa o proyecto | Descripción del programa o política | Municipios (localidades) | Objetivos o metas | Tipo de inversión | CON | RES | APP |
|---|--|---|--------------------------|---|-------------------|-----|-----|-----|
| Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SEDARPA) (2019-2024) | PFGSICV. Programa de Fomento a la Ganadería Sustentable con Integración de Cadenas de Valor | Capacitación Técnica, Fomento, Equipamiento e Insumos para el Desarrollo de Sistemas Silvopastoriles, Traspatio y Actividad Apícola. | No especificado | Objetivo del Programa: Promover el desarrollo de las productoras y productores pecuarios a través de la implementación de sistemas silvopastoriles, la asistencia técnica, así como el apoyo con la entrega de equipo, herramientas e insumos pecuarios para mejorar y hacer más eficientes las unidades de producción pecuaria. | Estatal | | | X |
| | | Fomento a la producción Pecuaria del Ejercicio | | | | | | |
| Secretaría del Medio Ambiente del estado de Veracruz (SEDEMA) 2024 | PFA. Programa para el Fomento Ambiental 2024 | Proyectos medio ambientales enfocados a la conservación de la biodiversidad, restauración de los ecosistemas y ejecución de prácticas sustentables. Instalación de viveros para producción de especies forestales y frutales nativos. | No especificado | Objetivo del Programa: Incentivar la participación de los ayuntamientos que conforman el Estado de Veracruz, instituciones educativas, personas físicas a través de financiamientos, con la finalidad de promover la preservación, conservación y restauración del medio ambiente, mediante actividades que favorezcan el desarrollo rural y la ejecución de prácticas sustentables. | Estatal | X | X | X |
| Secretaría de Bienestar 2023-2024 | PSV. Programa Sembrando Vida, para el ejercicio fiscal 2023-2024 | Proyectos medio ambientales enfocados a la conservación de la biodiversidad, restauración de los ecosistemas y ejecución de prácticas sustentables. Sistemas Agroforestales de árboles maderables y frutales (SAF). Milpa Intercaladas con Árboles Frutales (MIAF). Comunidades de aprendizaje. Viveros comunitarios. Biofábricas. | No especificado | Objetivo del Programa: Incentivar la participación de los ayuntamientos que conforman el Estado de Veracruz, Instituciones educativas, personas físicas a través de financiamientos, con la finalidad de promover la preservación, conservación y restauración del medio ambiente, mediante actividades que favorezcan el desarrollo rural y la ejecución de prácticas sustentables. | Federal | X | X | X |
| Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, (SADER) 2023-2024 | PPB. Programa Producción para el Bienestar | Apoyos directos a productores para productor de café, cacao, miel y leche de pequeña o de mediana escala. | No especificado | La Secretaría podrá brindar capacitación y/o acompañamiento técnico-organizativo, para facilitar la adopción de prácticas agroecológicas y sustentables para la paulatina transición productiva e incrementar los rendimientos en predios y unidades de producción de productores, principalmente de maíz, frijol, café, caña de azúcar, cacao, miel o leche, así como para fortalecer la instrumentación de servicios de | Federal | | | X |
| | PFAGPA. Programa de Fomento a la Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura | Operación del Componente Fomento a la Agricultura. Subcomponente Suelo, Agua y Biodiversidad. Reducción de la huella hídrica. Este subcomponente está orientado a impulsar las bases para la transformación de una agricultura sostenible, su adaptación al cambio climático a través de la recuperación y | No especificado | | Federal | | X | X |

| Institución o Fuente | Nombre del programa o proyecto | Descripción del programa o política | Municipios (localidades) | Objetivos o metas | Tipo de inversión | CON | RES | APP |
|---|--|---|--------------------------|--|-------------------|-----|-----|-----|
| | | protección de suelos y agua de uso agrícola, así como, la conservación y uso de la biodiversidad. | | vinculación productiva; y con la implementación de este programa se espera que productores pecuarios incremente la productividad de sus Unidades Económicas Pecuarias de manera sostenible. | | | | |
| | | Componente Fomento a la Ganadería. Apoyo directo para mejorar sus condiciones de bienestar y coadyuvar con la autosuficiencia alimentaria. Apoyos directos para la adquisición de material genético, infraestructura, equipo, paquetes tecnológicos y recursos zoológicos. | No especificado | | Federal | | | X |
| | | Componente Desarrollo Territorial: Subcomponente Innovación Tecnológica para el Desarrollo Territorial. Proyectos y servicios de investigación, desarrollo tecnológico, desarrollo de capacidades y/o transferencia de tecnología orientados a productores. Subcomponente orientado a impulsar el cambio tecnológico para incrementar la productividad de forma sostenible a través de la generación, transferencia de tecnología y el desarrollo de sus capacidades. | No especificado | | Federal | | | X |
| | PFB. Programa de Fertilizantes para el Bienestar 2024 | Son subsidios (incentivos) el fertilizante que se otorga a la población productora agrícola que cumple con los requisitos, documentos, caracterización y trámites a que se refieren las Reglas de operación del programa. | No especificado | Contribuir a la producción de los cultivos prioritarios. Entregar fertilizantes a productores de cultivos prioritarios para la producción de alimentos | Federal | | | X |
| | PPGPAB. Programa de Precios de Garantía a Productos Alimentarios Básicos. 2023-2024 | Apoyo para adquirir leche a partir de un Precio de garantía definido por la unidad responsable | No especificado | El objetivo general del programa es complementar el ingreso de los pequeños y medianos productores agropecuarios de granos básicos (arroz, frijol, maíz y trigo) y leche, a través de la implementación de precios de garantía. | Federal | | | X |
| Secretaría de Medio Ambiente Y Recursos Naturales y Comisión Nacional Forestal (SEMARNAT- CONAFOR) 2024 | PCA. Programa de Compensación Ambiental 2024. | Convocatoria Específica Manglar del Programa de Compensación Ambiental 2023 | No especificado | Establecer los mecanismos operativos del Programa de Compensación Ambiental por Cambio de Uso del Suelo en Terrenos Forestales, los procedimientos operativos y los mecanismos de seguimiento, evaluación, supervisión y transparencia, para lograr la compensación de los efectos negativos causados en los ecosistemas forestales por los cambios de uso de suelo en terrenos forestales, debidamente autorizados por la | Federal | X | X | |

| Institución o Fuente | Nombre del programa o proyecto | Descripción del programa o política | Municipios (localidades) | Objetivos o metas | Tipo de inversión | CON | RES | APP |
|--|--|---|--|---|-------------------|-----|-----|-----|
| 2023 | | | | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, mediante su restauración y protección así como contribuir con ello a tomar medidas para la prevención, adaptación y mitigación al cambio climático en los ecosistemas forestales. | | | | |
| | PADFS. Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2024. | Componente I. Manejo Forestal Comunitario y Cadenas de Valor 2024 Componente II. Plantaciones Forestales Comerciales y Agroforestales (PFCA). | Huayacocotla Zacualpan Tamiahua Castillo del Teayo Tihuatlan Álamo Temapache | Apoyar a las personas propietarias y poseedoras legítimas de terrenos de aptitud preferentemente forestal y temporalmente forestal al establecimiento y desarrollo de PFC competitivas y sustentables, así como de Sistemas Agroforestales, para promover la diversificación productiva del uso del suelo y contribuir a incrementar la producción forestal del país. | Federal | X | X | X |
| Banco Mundial, a través del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN), y del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (BM-FMCN-INECC) 2023 a 2025 | CONECTA² Red OSC México AC. | Conservación, restauración y manejo forestal sostenible de los sistemas agroforestales de la microcuenca Vinazco, perteneciente a la cuenca del río Tuxpan, Veracruz; mediante la aplicación de estrategias, técnicas y prácticas productivo-conservacionistas. | Huayacocotla | Conservar, restaurar y lograr el manejo forestal sostenible en los sistemas agroforestales de la microcuenca Vinazco, perteneciente a la cuenca del río Tuxpan, Veracruz. | Privada | | X | X |
| | CONECTA² Fundación Pedro y Elena Hernández AC. / ProRed Participativa AC | Conectividad del paisaje ganadero por medio de la restauración pasiva y productiva en la vertiente sur de la Sierra de Otontepec, Ver | Cerro Azul, Tepetzintla y Tancoco | Promover la conexión del paisaje ganadero de la cuenca alta de Sierra de Otontepec, por medio de la restauración pasiva y productiva del bosque ripario y el fomento de mejores prácticas de manejo de potreros | Privada | | X | X |
| | CONECTA² CESADESH AC. | Establecer módulos de ganadería regenerativa bajo manejo holístico de los recursos naturales. | Chicontepec | Manejo rotacional con cercos eléctricos los módulos de ganadería regenerativa y establecer leguminosa arbustiva, arboles maderables dispersos, frutales, cercas vivas, como estrategia para mitigar el cambio climático. | Privada | | | X |
| Programa Hídrico Regional 2021-2024 (Región Hidrológica Administrativa X Golfo Centro). Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). | INUNDACIONES. Protección contra inundaciones de zonas productivas y estabilización de márgenes del río Vinazco | Obras de protección contra inundaciones de zonas productivas y estabilización de márgenes del río Vinazco, 2021-2022 | Alama Temapache | Reducir la vulnerabilidad de la población ante inundaciones y sequías, con énfasis en pueblos indígenas y afromexicanos | Federal | | X | X |
| | POTABLE-X. Construcción del sistema múltiple de agua potable "El Xúchitl" | Construcción del sistema múltiple de agua potable "El Xúchitl" 2021-2021 | Alama Temapache | Proteger la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos para la implementación del derecho humano al agua. | Federal | | X | X |

| Institución o Fuente | Nombre del programa o proyecto | Descripción del programa o política | Municipios (localidades) | Objetivos o metas | Tipo de inversión | CON | RES | APP |
|----------------------|---|--|---|---|-------------------|-----|-----|-----|
| | ALCANTARILLADO. Construcción de alcantarillado sanitario (primera etapa) | Construcción de alcantarillado sanitario (primera etapa) 2021-2021 | Texcatepec | Abatir el rezago en el acceso al agua potable y al saneamiento para elevar el bienestar en los medios rural y periurbano. | Federal | | X | X |
| | MORALILLO. Elaboración de proyecto de rehabilitación de la obra de captación "presa El Moralillo" | Elaboración de proyecto de rehabilitación de la obra de captación "presa El Moralillo" 2022-2024 | Cerro Azul | Proteger la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos para la implementación del derecho humano al agua. | Federal | | X | X |
| | POTABLE-A. Construcción del sistema múltiple de agua potable | Construcción del sistema múltiple de agua potable 2022-2024 | Álamo Temapache | Garantizar progresivamente los derechos humanos al agua y al saneamiento, especialmente en la población más vulnerable | Federal | | X | X |
| | P-POTABILIZADORA Rehabilitación y ampliación de los módulos 1 y 2 de la planta potabilizadora (segunda etapa) | Rehabilitación y ampliación de los módulos 1 y 2 de la planta potabilizadora (segunda etapa) 2022-2024 | Cerro Azul | | Federal | | X | X |
| | POE-RT. Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la cuenca Río Tuxpan | Acompañamiento y seguimiento a la actualización y modificación 2022-2024 | Castillo de Teayo, Cerro Azul, Huayacocotla, Ixhuatlan de Madero, Temapache, Tepetzintla, Texcatepec, Tihuatlan, Tlachichilco, Tuxpan y Zacualpan | | Federal | | X | X |
| | HUMEDAL-ART. Establecimiento de Humedales Artificiales para Tratamiento de Aguas Residuales Municipales | Construir humedales artificiales como apoyo al tratamiento de aguas residuales municipales para mejorar la calidad de agua que se vierte a las lagunas costeras, ríos u otros cuerpos de agua. 2023-2027 | Tuxpan | Abatir el rezago en el acceso al agua potable y al saneamiento para elevar el bienestar en los medios rural y periurbano, | Federal | | X | X |
| | HUMEDAL-COST. Programa de Conservación de Humedales Costeros como medida de | Conservar y restaurar los humedales costeros para evitar problemas de inundaciones y asegurar la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ambientales y sustento a medios de vida de poblaciones marginadas. | Tuxpan | Fortalecer medidas de prevención de daños frente a fenómenos hidrometeorológicos y medidas de adaptación al cambio climático basado en ecosistemas y en comunidades, para reducir vulnerabilidad. | Federal | | X | X |

| Institución o Fuente | Nombre del programa o proyecto | Descripción del programa o política | Municipios (localidades) | Objetivos o metas | Tipo de inversión | CON | RES | APP |
|----------------------|--|--|--|--|-------------------|-----|----------|----------|
| | adaptación al cambio climático | | | | | | | |
| | PDM- MENA. Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024 | Sistema múltiple de abastecimiento de agua potable para las localidades de la Esperanza y Palma Real del municipio de Francisco Z. Mena, Puebla y las localidades del Moralillo, Nuevo Naranjal, Teayo , La Lima Nueva y Castillo de Teayo.. | Francisco Z. Mena y Castillo del Teayo | Proteger la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos para la implementación del derecho humano al agua. | Federal | | X | X |
| | PDM-TEAVO. Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024 | Construcción de sistema múltiple de abastecimiento de agua potable de municipio de Castillo de Teayo.. | Castillo del Teayo | Proteger la disponibilidad de agua en cuencas y acuíferos para la implementación del derecho humano al agua. | Federal | | X | X |

¹ El objetivo de este ANEXO es recopilar la información general de los proyectos y programas que contribuyen con los alcances del PAMIC. La información más detallada o específica se deberá consultar directamente de las fuentes de información o desde los portales institucionales.

² La **convocatoria** para la implementación de subproyectos y PLAT del proyecto CONECTA están dirigidos a comunidades locales, ejidos, pequeños propietarios y Grupo de Productores (GP) agrupados por una organización local legalmente constituida, con las capacidades para recibir, administrar y aplicar recursos de acuerdo con la ley, pudiendo ser asociaciones civiles (AC), sociedades de solidaridad social (SSS), sociedades de producción rural de responsabilidad limitada (SPR de RL), sociedades civiles, instituciones académicas, Juntas Intermunicipales, entre otras.

ANEXO 4

Recomendaciones para transversalización de la perspectiva de género en iniciativas de restauración, conservación y adecuación de prácticas productivas.

En este apartado se presentan algunos lineamientos generales y ejemplos de medidas para incorporar la perspectiva de género en cada una de las etapas de proyectos o iniciativas de restauración, conservación y adecuación de prácticas ganaderas y agroforestales.

El objetivo es asegurar la participación activa de mujeres y hombres de forma transversal para incorporar sus perspectivas, conocimientos y necesidades, ya sea como personas beneficiarias o como parte de equipos técnicos, en donde también es recomendable incluir personas especialistas en género y salvaguardas sociales.

1. Diagnóstico y definición del problema

- Considerar el índice de brechas de género u otras desigualdades identificadas en el PAMIC para priorizar las áreas geográficas o problemas de atención.
- Realizar un análisis de género para comprender cómo los roles, necesidades y relaciones de género pueden influir en los resultados ambientales deseados. Considera cómo hombres y mujeres utilizan los recursos y se ven afectados de manera diferencial por las problemáticas ambientales.

2. Diseño y planificación

- Simplificar procesos de aplicación y asegurar que los requisitos para participar y beneficiarse de las iniciativas no reproduzcan la desigualdad de género. Por ejemplo, evitar solicitar la titularidad de la tierra como condición de participación o financiamiento.
- Contemplar acciones afirmativas¹, como convocatorias o apoyos dirigidos exclusivamente a mujeres o a grupos conformados por al menos 40% de mujeres; cuotas de participación; microcréditos; capacitaciones en temas tradicionalmente masculinizados, como el manejo del fuego; capacitaciones y apoyos productivos orientadas a la autonomía económica de las mujeres mediante la diversificación productiva y acceso a mercados de productos sustentables; y apoyos para el trabajo doméstico y de cuidados. Para más detalle y ejemplos, pueden revisarse las acciones afirmativas en el marco del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCODES, SEMARNAT-CONANP, 2022) y el Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST, SEMARNAT-CONANP, 2023).

3. Implementación

- Establecer mecanismos justos de distribución del trabajo y los beneficios, como conocimientos, recursos productivos y oportunidades económicas.
- Incorporar medidas asociadas a las ciencias del comportamiento para favorecer y fortalecer la participación de mujeres, como mencionar explícitamente a las mujeres productoras y la

¹ Medidas de carácter temporal para corregir, compensar o promover que buscan catalizar la igualdad sustantiva entre mujeres y hombres (DOF, 2006)

importancia de su trabajo en convocatorias, enviar recordatorios de actividades, utilizar ejemplos de mujeres como modelos de comportamiento a seguir, fomentar grupos de ayuda y ahorro liderados por mujeres (Reyes-Retana et al., 2023; Rojas, 2021).

- Implementar tecnologías que reduzcan la carga de trabajo no remunerado de las mujeres y favorezcan un aprovechamiento eficiente y sustentable de los recursos naturales, como cocinas ahorradoras de leña, paneles solares, sistemas de captación de agua de lluvia y de riego eficiente.

4. Monitoreo y Evaluación

- Utilizar indicadores de género para analizar los resultados e impacto de las iniciativas en hombres y mujeres. De base, esto implica desagregar por género todos los indicadores con referencia directa a personas (p.ej. número de personas beneficiadas; número de personas que reducen el tiempo destinado a una actividad determinada). Además, pueden incorporarse indicadores de procesos, como porcentaje de actividades participativas con al menos una medida para promover y fortalecer la participación de mujeres.

Para más alternativas y orientación de cómo incorporar la PdG en este tipo de iniciativas, pueden consultarse los siguientes recursos:

Generales

- o PNUMA, 2022. Grupo Regional de Trabajo sobre Género y Medio Ambiente. Lista de chequeo para la integración de género y medio ambiente en iniciativas ambientales. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1kbKU_bk7sXNwGKLIKckzDrTrCs3C6M-8/view.
- o Eggerts E., 2019. Lista de Verificación para Talleres Sensibles a las Cuestiones de Género. Programa ONU-REDD. Disponible en: <https://www.unredd.net/documents/global-programme-191/gender-and-womens-empowerment-in-redd-1044/global-gender-resources/17257-lista-de-verificacion-para-talleres-sensibles-a-las-cuestiones-de-genero.html>

Producción sostenible

- o IUCN, 2020. Género y producción sostenible: Abordar las brechas de género y las desigualdades sociales para mejorar las cadenas de suministro agrícolas. Gland, Suiza. Disponible en: <https://portals.iucn.org/union/sites/union/files/doc/iucn-srjs-briefs-spanish-gender-sustainable-production-landscape.pdf>.
- o FAO, 2020. Desarrollo de cadenas de valor sensibles al género: Directrices para profesionales. Roma, Italia. 116 p. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/i9212es/>
- o Beaujon Marin A, Kuriakose AT, 2017. Puntos de partida para incorporar la perspectiva de género en el diseño y la ejecución de proyectos de gestión forestal sostenible. Climate Investment Funds. Disponible en: https://www.climateinvestmentfunds.org/sites/cif_enc/files/knowledge_documents/gender_and_forest_spa_folder_pdf_2019001656spaspa001_final.pdf
- o Eggerts E, 2017. Informe Metodológico de ONU-REDD sobre Género. PNUD. Serie de recursos técnicos del programa ONU-REDD. Reporte No. 4. Disponible en: https://www.unredd.org/sites/default/files/2021-09/Methodology%20Brief%20Report%20EN-ES%20-%20V6_LoRes_Web.pdf

- FONNOR, 2022. Plan de Acción de Género y Juventudes. Proyecto Carne Libre de Deforestación en sistemas de libre pastoreo: un modelo de producción y comercialización en Jalisco. Guadalajara, Jalisco. Disponible en: <https://www.fonnor.org/wp-content/uploads/2022/11/PAGYJ-Resumen-ejecutivo.pdf>

Restauración y conservación

- UICN, 2018. Directrices para una restauración con perspectiva de género: Un análisis más profundo del género en la Metodología de Evaluación de Oportunidades de Restauración. Gland: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. p. 25. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-009-Es.pdf>

Iniciativas climáticas

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, PNUD, 2020. Guía para la integración de enfoque de género en proyectos, programas, planes y políticas para la gestión del cambio climático del sector agropecuario. Bogotá: Colombia. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/GUIA-AGROPECUARIO_sv.pdf

ANEXO 5
Registro fotográfico
Créditos: FMCN y FGM



Primer taller para la elaboración participativa del PAMIC de la cuenca Río Tuxpan (Tuxpan, Veracruz, 13 de junio de 2024).



Segundo taller participativo para la elaboración del PAMIC en el Hotel Villa Las Margaritas (Xalapa, Veracruz, 29 de agosto de 2024).



Entrevistas en campo dirigidas a grupos focales o actores locales que llevan a cabo actividades agrícolas y pecuarias en la cuenca Río Tuxpan, Veracruz (28 de julio al 2 de agosto de 2024).

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



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.**
FMCN INSTITUCIÓN PRIVADA



FGM