

Valoración de servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas federales de México

Coordinadores:

Pedro Álvarez Icaza Longoria

Lilia Rodríguez Tapia

Daniel A. Revollo Fernández



VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS FEDERALES DE MÉXICO

Coordinadores

Pedro Álvarez Icaza Longoria

Lilia Rodríguez Tapia

Daniel A. Revollo Fernández



Universidad Autónoma Metropolitana*Rector General*

Dr. Gustavo Pacheco López

Secretaría General

Dra. Esthela Irene Sotelo Núñez

Unidad Azcapotzalco*Rectora*

Dra. Yadira Zavala Osorio

Secretario

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas

División de Ciencias Sociales y Humanidades*Director*

Dr. Jesús Manuel Ramos García

Secretario Académico

Lic. Gilberto Mendoza Martínez

Jefe del Departamento de Economía

Dr. Jaime Alberto Prudencio Vázquez

Coordinador de Difusión y Publicaciones

Dr. César Daniel Alvarado Gutiérrez

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*Secretaría*

Mtra. Alicia Bárcena Ibarra

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*Comisionado*

Dr. Pedro Álvarez Icaza Longoria

*Director General de Fortalecimiento Institucional**y Temas Internacionales*

Dr. José Feliciano González Jiménez

Director de Estrategias para el Fortalecimiento Institucional

Lic. José Manuel Juandiego Monzón

Primera edición, octubre 2025

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

División de Ciencias Sociales y Humanidades

Coordinación de Difusión y Publicaciones

Av. San Pablo No. 420 Col. Nueva el Rosario C.P. 02128

Alcaldía Azcapotzalco, CDMX, Tel. 53189109

www.publicacionesdcsh.azc.uam.mx

ISBN de la obra impresa: 978-607-28-3490-3

ISBN de la obra digital: 978-607-28-3491-0

Imagen de portada: Miguel Ángel Cruz Ríos, Coordinador de Comunicación para la Conservación de la Dirección Regional Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur de la CONANP

Portadillas: Luz Regina Landeros Gómez.

Encargada de Comunicación y Cultura de la Conservación del Parque Nacional Revillagigedo.

“Esta obra es resultado de investigación académica.

El contenido de esta obra fue dictaminado por pares bajo la modalidad de doble ciego”.

Se prohíbe la reproducción por cualquier medio sin el consentimiento del titular de los derechos patrimoniales de la obra.

Impreso en México / Printed in Mexico

AGRADECIMIENTOS

La publicación de este libro fue posible gracias al valioso apoyo financiero del **Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. (FMCN)** y de **Blue Nature Alliance (BNA)**, cuyo respaldo permitió la edición digital e impresa de esta obra. Destacamos tanto la trayectoria y experiencia del FMCN, que durante más de tres décadas ha contribuido de manera decisiva a garantizar la sostenibilidad financiera, la gestión efectiva y el fortalecimiento institucional de la Conanp, como la labor reciente y decidida de Blue Nature Alliance, orientada al fortalecimiento de áreas de conservación marinas en México.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) y la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) expresan su más profundo reconocimiento a estas organizaciones por su confianza y acompañamiento.

Finalmente, extendemos este agradecimiento a las y los investigadores, académicos, especialistas, comunidades rurales, y ejidales, pueblos y comunidades indígenas, autoridades locales y municipales y equipos de las Áreas Naturales Protegidas que aportaron su conocimiento, experiencia y compromiso para la elaboración de los estudios y reflexiones reunidos en este volumen. Su colaboración permitió integrar una visión plural y multidisciplinaria sobre los múltiples beneficios que la naturaleza nos brinda, así como sobre los desafíos que enfrentamos para garantizar su preservación y legado para las generaciones futuras.

AGRADECEMOS

Se expresa un agradecimiento especial a Luz Erendida Frías Hernández, Directora del Parque Nacional Revillagigedo, por el valioso acompañamiento logístico brindado en la gestión del financiamiento de la versión digital de la presente obra.

Asimismo, se reconoce el apoyo y acompañamiento técnico de la Dirección de Comunicación y Cultura para la Conservación de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), a cargo de su Directora, Amalia Cortés Romero, en la revisión del diseño de la portada del libro.

De igual manera, se expresa un sincero reconocimiento a las siguientes personas por los valiosos comentarios y observaciones para la elaboración de la presente obra:

Ignacio March Mifsut
CONSULTOR INDEPENDIENTE
Correo: ijmarchmifsut@gmail.com

Carlos Andrés López Morales
Profesor—Investigador del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales (CEDUA)
EL COLEGIO DE MÉXICO, A.C. (COLMEX)
Correo: calopez@colmex.mx

José Manuel Juandiego Monzón
Director de Estrategias para el Fortalecimiento Institucional
COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP)
Correo: jmonzon@conanp.gob.mx

José Eulalio Castañeda Archundia
Director de Área en la Dirección General de Conservación
COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP)
Correo: jeulalio@conanp.gob.mx

Graciela Reyes Retana de la Torre
Directora de Investigación y Desarrollo Institucional
FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA AC (FMCN)
Correo: graciela.reyes@fmcn.org

Daniela Ávila García
Oficial de Modelación Técnica
FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA AC (FMCN)
Correo: daniela.avila@fmcn.org

Eliana María Noya Díaz
Coordinadora de Investigación Socioambiental
FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA AC (FMCN)
Correo: eliana.noya@fmcn.org

Héctor Justino Gallegos Martínez
Coordinador de Emprendimientos
FONDO MEXICANO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA AC (FMCN)
Correo: hector.gallegos@fmcn.org

Juan Eduardo Bezaury Creel
Director
FUNDACIÓN BDM BIODIVERSIDAD MEXICANA
Correo: juanbezaury@gmail.com

Aram Rodríguez de los Santos
Director de Economía Ambiental y de Recursos Naturales
INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC)
Correo: aram.rodriguez@inecc.gob.mx

Tomás Camarena Luhrs
Asesor especial del Proyecto UTF/MEX/154 Implementación y fortalecimiento de la gestión sostenible de áreas naturales protegidas
ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), MÉXICO
Correo: tomas.camarenaluhrs@fao.org

Alonso Martínez Caballero
Asesor de Finanzas Ambientales para la Región ALyC. The Biodiversity Finance Initiative (BIOFIN)
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD), MÉXICO
Correo: alonso.martinez@undp.org

Marco Antonio Jiménez Hernández
Asesor del Proyecto Sinergia para Fortalecer el Manejo Efectivo de las Áreas Naturales Protegidas (Sinergia+)
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD), MÉXICO
Correo: marco.jimenez1@undp.org

Marisol Hernández Méndez
Asesora del Proyecto Sinergia para Fortalecer el Manejo Efectivo de las Áreas Naturales Protegidas (Sinergia+)
PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD), MÉXICO
Correo: Marisolhm05@gmail.com

Karina Caballero Güendulain
Coordinadora de la Especialización en Economía Ambiental y Ecológica
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
Correo: karinacg@unam.mx

Finalmente, se reconoce y agradece el invaluable apoyo técnico y profesional brindado a la coordinación de la presente obra por parte de las siguientes personas:

Eugenia Jiménez Barillas
Técnico Superior
COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP)
Correo: eugenia.jimenez@conanp.gob.mx

José Alfredo Vargas Santos
Consultor Senior del Proyecto UTF/MEX/154 Implementación y fortalecimiento de la gestión sostenible de áreas naturales protegidas
ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), MÉXICO
Correo: Jose.VargasSantos@fao.org

Mirya Alejandra Salguero Guzmán
Jefa de Departamento en la Dirección de Estrategias para el Fortalecimiento Institucional
COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP)
Correo: mirya.salguero@conanp.gob.mx

Zeus Alcalá Cisneros
Consultor del Proyecto UTF/MEX/154 Implementación y fortalecimiento de la gestión sostenible de áreas naturales protegidas
ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO), MÉXICO
Correo: Zeus.AlcalaCisneros@fao.org

PRÓLOGO

Dr. Pedro Álvarez Icaza Longoria¹

A lo largo de 25 años, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) ha consolidado un firme compromiso con la protección del patrimonio natural y cultural de México. Este esfuerzo ha sido posible gracias a una amplia red de alianzas con comunidades, pueblos originarios, instituciones académicas, organizaciones de la sociedad civil y organismos de cooperación internacional.

Esta publicación es resultado de una de esas valiosas colaboraciones: la alianza con la Universidad Autónoma Metropolitana, y el respaldo del Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) y de Blue Nature Alliance (BNA). La obra se titula Valoración de los servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas federales de México y la importancia del financiamiento para su conservación.

Desde mi responsabilidad como titular de la Conanp, agradezco profundamente el trabajo colectivo que hizo posible este documento. Más allá de su solidez técnica y científica, representa un esfuerzo por visibilizar y comprender los múltiples beneficios que la naturaleza nos brinda. En este sentido, la valoración de los servicios ecosistémicos se convierte en una herramienta estratégica para orientar decisiones de manejo, conservación y restauración de las Áreas Naturales Protegidas (ANP).

Las ANP son mucho más que polígonos en un mapa: son territorios vivos que sostienen la biodiversidad, el agua, el clima, la alimentación, el paisaje y la memoria colectiva. Constituyen un reflejo tangible de la responsabilidad compartida que tenemos como sociedad para preservar el equilibrio ecológico y fomentar un bienestar más justo y sostenible. Actualmente, México cuenta con 232 ANP federales que abarcan más de 98 millones de hectáreas (23.6% terrestres y 76.4% marinas), resguardando una riqueza biocultural invaluable.

Este trabajo se inscribe en una visión holística de la conservación, como la que impulsa el Informe de evaluación metodológica sobre los diversos valores y la valoración de la naturaleza propuesto por la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), integrando dimensiones biofísicas, sociales y económicas.

Reconocemos que la conservación no solo depende del conocimiento técnico, sino también de los saberes locales, la cosmovisión de los pueblos originarios, y las prácticas cotidianas que configuran los territorios, en los cuales diversas colectividades, con profundas raíces culturales y vínculos con la tierra, mantienen formas propias de organización y sabio manejo del entorno.

Desde la Conanp impulsamos una conservación humanista, que reconoce a las personas como parte inseparable de la naturaleza. En este enfoque, valorar los servicios ecosistémicos implica también valorar la vida, los vínculos, las prácticas ancestrales, como la meliponicultura, la recreación que conecta con el paisaje y el turismo comunitario que fortalece las economías locales sin comprometer su base natural.

Esta obra está dirigida a diversos públicos: pueblos originarios, usuarios de los servicios ecosistémicos, personal técnico, tomadores de decisiones, planeadores territoriales, organizaciones civiles, académicos y ciudadanía en general. Busca incidir tanto en el conocimiento como en la acción: contribuir a la formulación de políticas públicas, inversiones, instrumentos normativos y decisiones territoriales desde un enfoque de investigación-acción participativa. Este enfoque fortalece los vínculos entre ciencia, saberes locales y acciones colectivas a favor de la conservación de nuestro país.

Conservar es también transformar: transformar políticas, prácticas y conciencias para heredar un planeta más sano y justo a futuras generaciones.

En nombre de la Conanp, extendiendo una invitación abierta a seguir construyendo juntos una nueva relación con la naturaleza, basada en el respeto, la corresponsabilidad y la esperanza. Porque restaurar y conservar no es solo una tarea técnica: es un acto profundamente humano.

¹ Titular de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Correo: p.alvarezicaza@conanp.gob.mx

ÍNDICE

Prólogo	011
Introducción general	017
Capítulo Cero	019
Visión de Conjunto: historia, enfoques y nuevas tendencias de la valoración de servicios ecosistémicos.	
APARTADO I	026
Valoración biofísica de servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas federales de México	
Introducción	029
Capítulo Uno	033
Contribución de la diversidad florística leñosa a la provisión de servicios ecosistémicos en Sierra de Vallejo	
Capítulo Dos	051
Efectos de la perturbación antropogénica sobre el almacenamiento de carbono en bosques de galería de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca	
Capítulo Tres	069
Hacia la construcción de estrategias de manejo sustentable del paisaje a través de la valoración de la conectividad y la vulnerabilidad socioambiental en las Regiones Sierra y Costa de Chiapas	
Capítulo Cuatro	097
Servicios ecosistémicos en recuperación: logros y pendientes en el Parque Nacional Constitución de 1857 en 44 años	
Capítulo Cinco	105
Valores de conservación y amenazas en cuatro humedales bajacalifornianos	
APARTADO II	118
Valoración económica de servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas federales de México	
Introducción	121
Capítulo Seis	125
Valoración económica de los servicios ecosistémicos del Parque Nacional Revillagigedo, México	
Capítulo Siete	147
La valoración de servicios ecosistémicos como un complemento para el manejo y administración de la pesca deportiva de captura y liberación en el PN Arrecifes de Xcalak	

Capítulo Ocho	163
Valoración económica del servicio ecoturístico en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl	
Capítulo Nueve	179
Valoración integral de los servicios ecosistémicos en la Sierra Occidental de Jalisco: sinergias entre manejo local y conservación formal	
Capítulo Diez	191
Estimación de servicios ecosistémicos a través de la metodología de costo evitados en Áreas Naturales Protegidas federales de México	
Capítulo Once	206
Servicios ecosistémicos en la agricultura: casos de estudio en Áreas Naturales Protegidas federales de México	
APARTADO III	218
Valoración social de servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas federales de México	
Introducción	221
Capítulo Doce	223
Valoración integral de los servicios ecosistémicos asociados a la meliponicultura en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún: El caso de Isla Arena, Campeche	
Capítulo Trece	243
Perfiles de conciencia ecológica en el visitante del Área Natural Protegida Balandra: Un análisis de clases latentes	
Capítulo Catorce	255
El agua en las percepciones de los niños de dos comunidades de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México	
Capítulo Quince	269
Vivir el bosque: percepciones locales de los servicios ecosistémicos en una microcuenca del Área Natural Protegida La Malinche	
Conclusiones	286

INTRODUCCIÓN GENERAL

Dr. Pedro Álvarez Icaza Longoria¹

Dr. Daniel Alfredo Revollo Fernández²

Dra. Lilia Rodríguez Tapia³

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México comprenden zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce soberanía y jurisdicción, en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano, o que sus ecosistemas y funciones integrales requieren ser preservadas y restauradas.

Son territorios marcadamente heterogéneos, en los que se desarrollan diversas actividades económicas a diferentes escalas, y son habitados, principalmente, por comunidades rurales, pueblos indígenas y afrodescendientes. En su mayoría, estas poblaciones ejercen formas de gobernanza territorial colectiva mediante esquemas de propiedad comunal o ejidal. En este contexto, las ANP se configuran como unidades de gestión de la biodiversidad fundamentales para la conservación de la riqueza biológica y multicultural del país. No obstante, pese a su relevancia estratégica, enfrentan presiones antropogénicas crecientes —como el cambio de uso de suelo, el turismo masivo, la sobreexplotación de recursos, entre otros— y disponen de recursos financieros limitados, lo que impone la necesidad de replantear enfoques, metodologías y modelos de gestión más integrales, inclusivos y sostenibles.

Ante este escenario, la valoración de los servicios ecosistémicos (SE) adquiere una relevancia crucial, como herramienta metodológica, pero también como proceso analítico orientado a cuantificar las contribuciones que la naturaleza proporciona al bienestar humano. Tales contribuciones forman parte de procesos ecológicos globales, como los ciclos biogeoquímicos, pero también de dinámicas económicas altamente interconectadas a nivel mundial, por lo que su evaluación es esencial para la planeación y ejecución de políticas en las ANP.

El campo de la valoración de SE cuenta con antecedentes consolidados en el ámbito internacional. Desde la década de 1940, Harold Hotelling introdujo el método del costo de viaje, perfeccionado posteriormente por Clawson y Knetsch en los años 60. En México, los primeros esfuerzos institucionales en esta materia se remontan a la década de 1990, liderados por el entonces Instituto Nacional de Ecología (INE), hoy Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), destacando entre ellos la publicación del libro *Valoración económica de los servicios ambientales de los ecosistemas* en el año 2000.

Desde entonces, la valoración de SE ha experimentado avances significativos en el país, tanto en términos de innovación metodológica como en la participación de actores de los sectores académico, gubernamental y social. En este contexto de expansión temática e institucional, surge el presente libro, concebido no solo para evaluar y cuantificar SE, sino también para reflexionar sobre la necesidad de proponer y contar con instrumentos económico-financieros innovadores orientados a su conservación, sustentados en evidencia empírica derivada de estudios de valoración.

Esta evolución ha tendido hacia una visión integral de los SE, en la que convergen las dimensiones biofísica, social y económica. Es precisamente desde esta perspectiva que, con el impulso conjunto de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), se gesta este libro, titulado *Valoración de servicios ecosistémicos en Áreas Naturales Protegidas federales de México* y la importancia del financiamiento en su conservación.

A lo largo del libro se ejemplifican diversos esfuerzos de valoración realizados en México, con enfoques, escalas y alcances distintos. Sin embargo, es importante reconocer que los SE enfrentan una limitación estructural: su carácter de bienes públicos. Esta condición

¹ Titular de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Correo: p.alvarezicaza@conanp.gob.mx

² Profesor-Investigador del Departamento de Economía SECIHTI-UAM-A. Correo: darf@azc.uam.mx

³ Coordinadora de la Especialización en Economía y Gestión del Agua. UAM-A. Correo: lrt@azc.uam.mx

implica que su valor suele permanecer oculto o subestimado por el mercado, lo que dificulta su inclusión efectiva en las decisiones de política pública y limita su reconocimiento en los sistemas económicos convencionales. En un contexto global caracterizado por la hiper digitalización, la valorización de los SE adquiere un sentido estratégico, al facilitar su visibilización y comprensión como elementos esenciales para la sostenibilidad de las ANP. Esta comprensión integral permite no solo reconocer los vínculos sociales —materiales y simbólicos— que median la relación sociedad-naturaleza, sino también subraya la urgencia de establecer mecanismos, fuentes y esquemas de financiamiento capaces de asegurar la provisión continua de servicios ecosistémicos.

Este libro constituye un esfuerzo orientado a promover la vinculación y el diálogo intersectorial —entre gobierno, academia, sociedad civil y organismos de cooperación internacional— en torno a la conservación de los SE. Se busca impulsar una perspectiva holística que fomente procesos de investigación-acción, donde los estudios de valoración no se limiten a producir diagnósticos, sino que a partir de sus resultados sugieran la implementación de políticas públicas mediante instrumentos y estrategias de financiamiento ambiental. Asimismo, el libro pretende servir como plataforma para la divulgación científica y la construcción colectiva de conocimiento en torno a la valoración de SE y la conservación de las ANP.

La convocatoria para conformar este libro generó entusiasta y amplia participación de especialistas de diversos sectores, incluidos centros de investigación, instituciones públicas y organizaciones sociales. Se recibieron un total de 43 propuestas, de las cuales, tras un proceso de evaluación realizado por un comité técnico (académico-gubernamental), fueron seleccionadas 15, en función de su relevancia temática y viabilidad editorial. Estas contribuciones se agruparon, con la visión holística a la que se ha hecho referencia, en tres ejes analíticos, atendiendo al enfoque y método de cada estudio: cinco trabajos se enmarcan en la dimensión biofísica, cuatro en la dimensión social y seis en la dimensión económica.

Los estudios incluidos abarcan 12 ANP federales, distribuidas en diferentes categorías de protección:

- Seis Parques Nacionales: Constitución de 1857, Arrecifes de Xcalak, Iztaccíhuatl-Popocatepetl, Cabo Pulmo, La Malinche y Revillagigedo.
- Cuatro Reservas de la Biosfera: Chamela-Cuixmala, Sian Ka'an, Mariposa Monarca y Sierra de Vallejo-Ameca.
- Dos Áreas de Protección de Flora y Fauna: Balandra y San Miguelito.

En cuanto a las metodologías aplicadas, se incluyen enfoques reconocidos y diversos como el método de costo de viaje, los costos evitados, la Valoración Económica Total (VET), el análisis de vulnerabilidad y conectividad ecológica, la Evaluación Rápida de los Servicios Ecosistémicos de Humedales (RAWES, por sus siglas en inglés) y el marco de Contribuciones de la Naturaleza a las Personas (NCP, por sus siglas en inglés). La pluralidad de métodos refleja la riqueza conceptual y operativa del campo, así como su capacidad para generar información útil para la toma de decisiones.

La colaboración entre la UAM y la Conanp, junto con la participación entusiasta de diversos sectores, pone de manifiesto el potencial de la cooperación interinstitucional e intersectorial para avanzar en la conservación de las ANP. Este esfuerzo debe entenderse como la punta de lanza para la conformación de una red nacional de trabajo intersectorial, a la que ya se han sumado actores de la cooperación internacional, tanto bilateral como multilateral. Solo mediante esta articulación de capacidades será posible responder de forma eficaz y coherente a los desafíos que imponen las presiones antropogénicas y la urgencia de conservar los servicios ecosistémicos fundamentales que proveen las ANP.

Se espera que la lectura de este libro contribuya a consolidar una visión integral sobre la valoración de los SE, trascendiendo su dimensión técnica o metodológica, para ser también un medio de reconocimiento del valor de la naturaleza en la vida cotidiana.

Asimismo, se aspira a que este libro sea una herramienta útil para profesionales dedicados a la conservación, la gestión territorial y el desarrollo comunitario, así como una guía que permita transformar el conocimiento en acción, cerrando así las brechas persistentes entre la teoría y la práctica.

CAPÍTULO CERO

HISTORIA, ENFOQUES Y NUEVAS TENDENCIAS DE LA VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Lic. José Manuel Juandiego Monzón¹

Cero emisiones netas es un ideal político global; en este sentido, el cero se convierte en símbolo de equilibrio ecológico.

Es innegable que todo correlato histórico conlleva omisiones y una posible sobrerrepresentación de ciertos hechos o dimensiones; seguramente este capítulo no constituye una excepción. En consecuencia, resulta esencial asumir los siguientes puntos:

- Ningún acontecimiento —y, por ende, ninguna metodología— se desarrolla de forma aislada o desvinculada del contexto que la condiciona: social, económico, ambiental, político y perceptual.
- En los procesos de construcción del conocimiento, incluidas las metodologías, se manifiestan dinámicas continuas de adaptación, mejora e incluso rupturas epistemológicas, con el objetivo de alcanzar explicaciones más amplias e integradoras de los fenómenos, siempre en diálogo con su contexto.
- Esta visión holística se configura mediante una complementariedad dialéctica —no exenta de contradicciones— entre enfoques convencionales y perspectivas alternativas.

Con plena intención, este capítulo se denomina “Capítulo cero”, evocando ese enigmático vacío del cual todo emerge. El cero representa tanto semilla como abismo, silencio como génesis del ser; es el no-ser que posibilita la existencia. Sin el cero no habría medición, y sin medición no existe equilibrio: sin equilibrio, la naturaleza se desborda o colapsa sobre sí misma. El cero, al brindarnos una referencia para el balance, invita a contemplar con humildad los ciclos invisibles de la Tierra, a percibir su latido y a rendirle el respeto que merece.

Este capítulo se propone, por tanto, ofrecer un panorama general sobre diversos orígenes y trayectorias: desde la temática, las metodologías y los enfoques, hasta las tecnologías y las aplicaciones actuales y potenciales de la valoración en el contexto de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) federales.

Correlato histórico del tema de valoración de servicios ecosistémicos

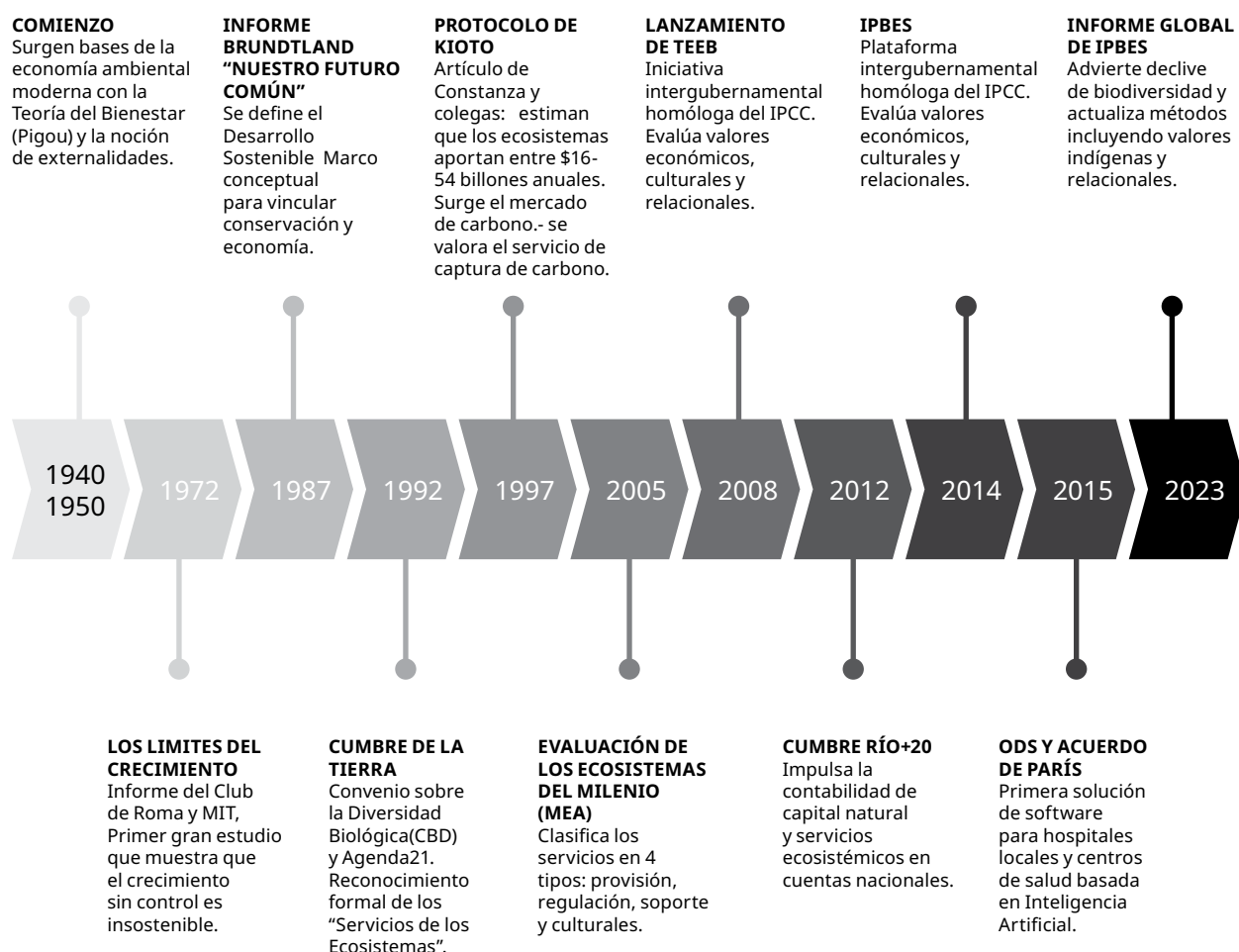
Diversos hitos han marcado el inicio, desarrollo y evolución de los estudios en torno a la valoración de los servicios ecosistémicos (SE). Estos hitos, como se mencionó anteriormente, se entrelazan con acontecimientos de índole económica, social, política, ambiental y tecnológica. Algunos de ellos, representados en la Figura 1, son relevantes por las siguientes razones:

- Contribuyen al fortalecimiento del cuerpo teórico que sustenta los estudios de valoración.
- Aportan al desarrollo de metodologías de análisis y a la diversificación de técnicas de medición.
- Reflejan la creciente relevancia social y política de eventos que posicionan la conservación como un tema estratégico en la agenda internacional.
- Evidencian la evolución de las metodologías, desde enfoques predominantemente antropocéntricos hacia perspectivas más holísticas e integradoras.

¹ Director de Estrategias para el Fortalecimiento Institucional de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
Correo: jmonzon@conanp.gob.mx

- Ilustran el tránsito en los procesos de valoración, desde la medición de los SE hasta la formulación de propuestas e instrumentos económico-financieros orientados a “internalizar las externalidades”, como mecanismo de incidencia en la política pública.

Figura 1. Hitos en la valoración de servicios ecosistémicos



Fuente: elaboración propia (2025).

De manera paralela a estos procesos, se han desarrollado diversas metodologías para la valoración de los SE, las cuales reflejan distintos paradigmas y concepciones sobre la relación sociedad-naturaleza. Por un lado, destacan los enfoques convencionales de valoración económica, basados en las teorías del bienestar y la economía ambiental, que buscan cuantificar los beneficios ecosistémicos en términos monetarios con el objetivo de facilitar su incorporación en los procesos de toma de decisiones y en el diseño de políticas públicas (véase Tabla 1).

Por otro lado, han emergido enfoques críticos y alternativos que, en respuesta a la visión instrumental y utilitarista de la naturaleza, amplían el marco de análisis hacia dimensiones relacionales, éticas, espirituales y comunitarias. Estos enfoques se alinean con principios de justicia ambiental, el reconocimiento de derechos colectivos y la protección del patrimonio biocultural (véase Tabla 2). Las metodologías asociadas a estas perspectivas subrayan la necesidad de marcos de valoración más integrales e inclusivos, capaces de representar la pluralidad de valores que las sociedades atribuyen a la naturaleza y a sus servicios, trascendiendo su mera utilidad económica.

Tabla 1. Métodos convencionales de valoración con un fuerte enfoque económico

Década-Año*	Método	Objetivo	Campo de aplicación (p.e)	Impulsores-Autores
1940-1960	Costo de viaje	Medir valor recreativo mediante gastos de transporte	Turismo de naturaleza, parques nacionales.	Clawson & Knetsch, Freeman.
1940-1960	Costo evitado	Calcular costo de reparar daños si se pierde el servicio.	Costas, protección contra inundaciones.	Pearce, Costanza.
1970	Valoración contingente	Capturar disposición a pagar por conservar SE.	Paisajes, recreación, biodiversidad.	Randall & Stoll, Mitchell & Carson.
1980	Precios hedónicos	Estimar valor ambiental a partir de precios de mercado.	Calidad ambiental urbana, ruido.	Rosen, Freeman.
1990	Transferencia de beneficios	Transferir resultados de estudios existentes a sitios similares.	Análisis de políticas públicas.	Economistas ambientales
1997*	Valoración integral global	Estimar valor total de todos los SE.	Política ambiental global, sensibilización.	Robert Costanza et al.
2000	Análisis multicriterio	Integrar valores biofísicos, sociales y económicos.	Planificación territorial.	Munda, Gómez-Baggethun.
2005*	Millennium Ecosystem Assessment	Clasificar SE y visibilizar su contribución.	Política internacional, ODS.	UNEP, 1360 expertos
2010	Teoría del Capital Natural	Medir stocks de capital natural como activos económicos.	Cuentas nacionales, PIB verde.	Dasgupta, Costanza, Natural Capital Coalition

Fuente: elaboración propia (2025).

Tabla 2. Enfoques alternativos de valoración de servicios ecosistémicos

Corriente	Resumen	Aporte holístico	Metodologías comunes	Obras clave	Autores	Ejemplos y herramientas
Derechos de la Naturaleza	Reconoce valor intrínseco a ecosistemas y especies. Naturaleza como sujeto de derecho.	Amplía desde lo jurídico y ético. Fortalece gobernanza bioética.	- Estudios jurídicos y litigio estratégico. - CLPI. - Auditorías ecológicas. - Evaluaciones bioéticas.	Derechos de la Naturaleza (Gudynas). Constitución de Ecuador y Bolivia.	Eduardo Gudynas (Uruguay). Alberto Acosta (Ecuador).	Sentencias constitucionales (Ecuador-Bolivia). Monitoreo comunitario. Protocolos de consentimiento
Valores Relacionales	Conexión relacional, identitaria y emocional con la naturaleza.	Integra valores no monetarios. Políticas sensibles a cultura e identidad.	- Talleres deliberativos. - Mapeo relacional. - Encuestas de percepción. - Narrativas y relatos.	IPBES Values Assessment Report (2022).	Kai Chan (Canadá). Sandra Díaz (Argentina). Unai Pascual (España).	IPBES Values Assessment. MCDA adaptado con mesas comunitarias.
Perspectiva biocultural	Entrelaza biodiversidad y diversidad cultural. Destaca custodios indígenas.	Reconoce derechos colectivos, saber local. Planes de conservación integrales.	- Investigación Acción Participativa (IAP). - Cartografía cultural. - Etnografía colaborativa. - Inventarios bioculturales.	Sacred Ecology (Berkes). Biocultural Diversity Conservation (Maffi & Woodley).	Fikret Berkes (Canadá-Turquía). Luisa Maffi (Italia-EE. UU.). Gary Nabhan (EE. UU.)	Mapeo de sitios sagrados. Registros comunitarios de biodiversidad.
Enfoques interculturales	Diálogo de saberes. Inclusión de cosmovisiones indígenas.	Marcos transdisciplinarios. Legítima espiritualidad y ética diversa.	- Diálogo de saberes. - Coinvestigación transdisciplinaria. - Teatro, arte, rituales. - Laboratorios vivos	Sentipensar con la Tierra (Escobar). Epistemologías del Sur (de Sousa Santos)	Arturo Escobar (Colombia). Walter Mignolo (Argentina). Boaventura de Sousa Santos (Portugal)	Sentipensar con la Tierra. Epistemologías del Sur. Mesas de diálogo intercultural.

Fuente: elaboración propia (2025).

El impulso de la tecnología en el fortalecimiento de los métodos de valoración de servicios ecosistémicos y las nuevas tendencias

Como se ha señalado, los estudios de valoración de los SE no están exentos de la influencia del contexto en el que se desarrollan. En este marco, la tecnología desempeña un papel crucial, ya que puede limitar o potenciar el alcance de dichos estudios, afectando tanto el cumplimiento de sus objetivos como la profundidad de sus resultados (véase Tabla 3).

Desde los primeros ejercicios de estimación de costos de mitigación en la década de 1950 hasta la actualidad, la incorporación de recursos tecnológicos ha incidido significativamente en múltiples dimensiones de la valoración de SE, contribuyendo a:

- Mediciones más precisas: mientras que anteriormente se dependía principalmente de encuestas y datos limitados, hoy se cuenta con sensores, satélites y drones que permiten una recolección de datos más detallada, frecuente y confiable.
- Espacialización de datos: los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitan la localización y el mapeo preciso de los SE, posibilitando escalas de análisis que van desde lo local hasta lo global, y promoviendo la transición de estudios puntuales hacia el monitoreo satelital de amplias regiones.
- Simulación de escenarios: herramientas computacionales como InVEST o ARIES permiten modelar y proyectar diferentes escenarios futuros, favoreciendo el paso de la simple estimación a la predicción, y fortaleciendo la planificación adaptativa.
- Análisis de grandes volúmenes de datos (big data): el uso de técnicas de big data posibilita la identificación de patrones previamente invisibles mediante el procesamiento masivo de datos sobre clima, biodiversidad, cobertura del suelo, entre otros.
- Fomento de procesos participativos: plataformas digitales y aplicaciones móviles han abierto nuevas oportunidades para la inclusión de comunidades locales en la recolección de información a través de iniciativas de ciencia ciudadana. Este enfoque favorece la incorporación de variables culturales y sociales, y respalda metodologías de valoración bioculturales e interculturales más integrales y representativas.

Tabla 3. Tecnologías, usos y servicios ecosistémicos

Avances tecnológicos	Tecnologías usadas	Aportes	SE asociados
Teledetección y SIG.	Imágenes satelitales, drones, sensores LIDAR.	Monitoreo a gran escala, series temporales, mapas de cambio de cobertura.	Regulación climática, provisión de agua, captura de carbono, biodiversidad.
Modelos de simulación predictiva.	Big Data, Machine Learning, modelos dinámicos (InVEST, ARIES)	Simulan escenarios futuros, estiman cambios en flujos y stocks.	Hidrológicos, carbono, polinización, erosión del suelo.
Valoración económica espacial.	SIG, bases de datos geográficas y censos.	Generación de mapas de valor económico espacialmente explícitos.	Uso recreativo, turismo de naturaleza, paisajes culturales.
Inteligencia artificial aplicada.	Algoritmos de IA, redes neuronales, procesamiento automatizado.	Automatiza clasificación de imágenes, predicción de tendencias, detección de patrones.	Monitoreo de biodiversidad, calidad de hábitat, servicios de polinización.
Monitoreo participativo digital.	Aplicaciones móviles, plataformas web, crowdsourcing.	Recoge datos comunitarios, refuerza vigilancia y gobernanza local.	Servicios culturales, regulación local, recursos de uso directo.
Blockchain y trazabilidad.	Contratos inteligentes, registros distribuidos.	Garantiza pagos transparentes, seguimiento de créditos de carbono-biodiversidad.	Pagos por Servicios Ambientales (PSA) de carbono, bonos verdes, biodiversidad certificada.
Internet de las Cosas (IoT)	Sensores remotos, estaciones meteorológicas conectadas.	Datos en tiempo real sobre flujos hidrológicos, calidad de agua, clima local.	Agua, regulación climática, servicios de soporte.
Realidad aumentada y VR	Visualización 3D, herramientas inmersivas.	Educación ambiental, valorización de paisajes culturales.	Servicios culturales, recreativos, identidad paisajística.
Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA) asistido por software.	Plataformas de decisión multicriterio (Analytical Hierarchy Process) con IA.	Integra datos biofísicos, económicos y sociales en decisiones participativas.	Valoración integral multiservicio.
Genómica ambiental.	eDNA, bioinformática.	Monitoreo preciso de biodiversidad y cambios ecosistémicos.	Regulación de biodiversidad, soporte de hábitats.

Fuente: elaboración propia (2025).

Nuevas tecnologías y potenciales áreas de aplicación

Actualmente, el desarrollo tecnológico avanza a un ritmo tan vertiginoso que proyectar posibles usos futuros en ámbitos como el ambiental puede resultar, en cierta medida, paradójico: lo que en un contexto apenas se perfila como una posibilidad, en otro ya constituye una realidad o se encuentra en fase piloto para su implementación. Esta situación pone de manifiesto no solo las brechas tecnológicas entre regiones, sino también el enorme potencial para la transferencia de conocimientos e innovaciones orientadas a la valoración de SE.

En este marco, la Tabla 4 presenta algunas áreas y aplicaciones potenciales de la tecnología en los procesos de valoración de los servicios ecosistémicos (SE). Cabe señalar que estos ejemplos no son exhaustivos, y que las posibilidades continúan expandiéndose a medida que la tecnología evoluciona y se adapta a nuevas demandas socioambientales.

Tabla 4. Áreas de aplicación y usos de las tecnologías.

Áreas de aplicación	Uso de tecnologías
1. Agroecología y producción sostenible: Agricultura de precisión alineada con conservación de SE.	1. IA generativa: Modelos que automaticen informes de impacto o predigan cambios en tiempo real.
2. Seguros climáticos: Valoración precisa de riesgos ambientales para diseñar coberturas basadas en datos reales.	2. Nanosatélites: Flotas más baratas y específicas para monitoreo local de bosques, costas, humedales.
3. Turismo sostenible: Gestión de destinos con monitoreo de la capacidad de carga ecosistémica.	3. Bioinformática ambiental: Sensores para analizar ADN ambiental (eDNA) y detectar biodiversidad sin invadir hábitats.
4. Restauración ecológica: Uso de drones y bioingeniería para restaurar hábitats críticos.	4. Blockchain verde: Smart contracts para garantizar pagos automáticos en esquemas de PSA.
5. Gobernanza intercultural: Plataformas digitales multilingües que integren conocimientos indígenas en valoraciones.	5. Gemelos digitales de ecosistemas: Réplicas virtuales de áreas naturales para simular restauración o degradación.

Fuente: elaboración propia (2025).

Los métodos de valoración de los servicios ecosistémicos y su aplicación en las Áreas Naturales Protegidas

La valoración de los servicios ecosistémicos (SE) ha adquirido una trayectoria significativa dentro de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). A lo largo de los años, se han impulsado diversas iniciativas y proyectos que reflejan el compromiso institucional por integrar estos valores en la gestión y conservación de las ANP.

A continuación, se presenta —de manera enunciativa, no exhaustiva ni limitativa— una serie de acciones desarrolladas en esta materia. En todas ellas, ha sido fundamental el enfoque interdisciplinario y la participación coordinada de diversas dependencias del sector público, instituciones académicas, organizaciones de la sociedad civil y organismos de cooperación internacional. Estas alianzas han contribuido al fortalecimiento de capacidades técnicas, la generación de conocimiento aplicado y la promoción de prácticas de conservación más integrales, que reconocen tanto los beneficios ecológicos como los sociales y económicos que brindan los ecosistemas:

- 2009. Publicación del estudio *El valor de los bienes y servicios que las áreas naturales protegidas* proveen a los mexicanos, como resultado de la colaboración entre The Nature Conservancy (TNC) y la Conanp.
- 2013-2018. Ejecución del Proyecto EcoValor Mx, un esfuerzo conjunto entre la Conanp y la Cooperación Técnica Alemana (GIZ), que permitió realizar estudios de valoración de SE en ANP específicas, así como análisis del aporte de estas áreas a actividades económicas concretas (www.ecovalor.mx).
- 2017 (lanzamiento oficial). Inicio del Proyecto de Contabilidad del Capital Natural y Valoración de Servicios Ecosistémicos en México, coordinado por el INEGI y con la colaboración de la SEMARNAT (incluyendo CONAFOR, Conanp, INECC y CONAGUA), CONABIO, UNAM, INECOL, GIZ y BIOFIN-PNUD. Entre sus objetivos destacan el desarrollo de cuentas de extensión y condición de los ecosistemas (suelo, agua, biodiversidad, carbono), así como de cuentas de oferta y utilización de servicios ecosistémicos —en unidades físicas y monetarias— asociados al almacenamiento y secuestro de carbono, la provisión de cultivos, el suministro de agua y la protección costera.

Asimismo, es importante señalar que la elaboración de estudios de valoración —desde perspectivas económicas, sociales y/o biofísicas— tiene una aplicación clave en el manejo y conservación de las ANP. En el caso específico de la Conanp, estos estudios constituyen una herramienta estratégica para evidenciar los beneficios que estas áreas ofrecen a la sociedad (véase Tabla 5).

Tabla 5. Aplicaciones prácticas para el quehacer de la Conanp

Planeación y manejo	Monitoreo y evaluación	Financiamiento y mecanismo	Gobernanza, comunicación y participación	Otras utilidades
1. Diseño y actualización de Programas de Manejo: La valoración biofísica identifica prioridades de conservación; la social ayuda a entender la aceptación de medidas de manejo y la económica respalda costos y beneficios. 2. Zonificación: Identificar zonas de uso restringido, restauración o aprovechamiento sustentable con base en los servicios que prestan.	1. Indicadores de efectividad de manejo: La valoración biofísica permite saber si los ecosistemas están mejorando o deteriorándose. 2. Seguimiento de límites de cambio aceptable (LCA): Permite comparar escenarios y tomar decisiones adaptativas. 3. Evaluación de proyectos productivos sustentables: Valorar los impactos y beneficios derivados de actividades como ecoturismo, reforestación o manejo forestal comunitario.	1. Justificación de presupuestos y subsidios: Poner en números el valor de los SE muestra por qué asignar recursos a la ANP tiene sentido económico y social. 2. Diseño de instrumentos financieros: Por ejemplo, establecer bonos de carbono, PSA, o esquemas de compensación ambiental. 3. Atractivo para inversionistas o cooperación internacional: Un ANP con datos claros de captura de carbono, biodiversidad única o valor recreativo puede atraer fondos internacionales.	1. Fortalecer la participación social: La valoración social reconoce usos, costumbres y percepciones de comunidades locales e indígenas, reforzando su inclusión. 2. Educación ambiental: Comunicar en términos comprensibles la importancia de los SE a tomadores de decisiones y a la sociedad. 3. Resolver conflictos de uso: Mostrar quién se beneficia y quién se ve afectado facilita acuerdos entre actores (p. ej. acceso a agua, turismo, cacería).	1. Toma de decisiones basada en evidencia: • Permite priorizar acciones, elegir dónde intervenir y justificar intervenciones (fortalecimiento de políticas públicas). • Los datos generados apoyan políticas de conservación, restauración y aprovechamiento sustentable alineadas con metas nacionales e internacionales (ODS, Convenio de Diversidad Biológica). 2. Visibilidad y sensibilización: • Convertir SE en cifras y narrativas ayuda a comunicar su valor a gobiernos, comunidades y la sociedad. 3. Diseño de estrategias de adaptación al cambio climático: • Muchos SE son claves para la resiliencia: carbono, agua, biodiversidad. 4. Apoyo a esquemas de certificación y comercio justo: • Certificaciones de carbono, productos forestales no maderables, turismo sustentable con base en el valor de los servicios.

Fuente: elaboración propia (2025).

Últimas consideraciones

Como se ha mostrado a lo largo de este capítulo, la valoración de los SE constituye un campo amplio, dinámico y fascinante, con una rica trayectoria histórica que articula una diversidad de disciplinas, enfoques y marcos conceptuales. Su potencial de aplicación, tanto en el presente como en el futuro, es sumamente prometedor. A medida que ha evolucionado, esta área ha incorporado –en respuesta a los cambiantes contextos sociales, económicos, culturales y ambientales– una visión cada vez más holística, orientada a abordar la complejidad inherente de su objeto de estudio: las múltiples y diversas relaciones entre las sociedades humanas y los ecosistemas.

Sin duda, su desarrollo no está –ni estará– exento de contradicciones, desafíos y riesgos. Sin embargo, también representa un terreno fértil para la creatividad, la innovación y la imaginación. Este capítulo ha buscado precisamente destacar ese abanico de posibilidades, así como subrayar la relevancia de la participación activa, la construcción colectiva del conocimiento y la apertura a nuevas ideas e innovaciones como pilares esenciales para avanzar hacia una comprensión y gestión más integral y transformadora de los SE.

Valorar los SE implica mucho más que asignar cifras o categorías a los beneficios que provee la naturaleza. Es, ante todo, un acto de reconocimiento: de nuestra profunda interdependencia con los ecosistemas, de la responsabilidad ética que conllevan nuestras decisiones, y de la necesidad de construir una relación más justa, respetuosa y solidaria con la naturaleza y con las comunidades que la habitan y la cuidan. Este campo nos convoca a imaginar futuros posibles y a construirlos colectivamente, con sensibilidad, rigor y esperanza.

Que este capítulo sirva como recordatorio de que la naturaleza no solo nos sostiene, sino que también nos enseña. Y que el verdadero valor reside en aprender a observarla, comprenderla y protegerla, para que sus ciclos sigan nutriendo la vida en todas sus formas.



VALORACIÓN BIOFÍSICA DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS EN ÁREAS NATURALES
PROTEGIDAS FEDERALES DE MÉXICO

INTRODUCCIÓN

Arq. Juan Eduardo Bezaury Creel¹

La valoración de los servicios ecosistémicos (SE) permite evidenciar las contribuciones tangibles e intangibles que la biodiversidad y los ecosistemas hacen al bienestar humano. Este Capital Natural constituye una fuente tanto de bienes tangibles o materiales con un valor de uso —por ejemplo el suministro de agua, el abastecimiento de alimentos, la polinización de los cultivos, el secuestro de CO₂ y la regulación del clima— como de servicios intangibles o inmateriales con un valor de no-uso —entendido como el valor que las personas asignan a un bien o servicio ecosistémico aun cuando no lo utilicen directamente—, por ejemplo, el valor de existencia del paisaje y de especies. En este sentido resulta más fácil asignar un valor monetario a los bienes tangibles, ya que los bienes intangibles están más bien vinculados a la percepción de calidad de vida del ser humano.

El proceso de valoración de los SE debe ser abordado de manera holística y debe comprender los siguientes componentes: la valoración biofísica, que cuantifica la magnitud de los bienes y servicios ambientales que brindan los ecosistemas y que es tema del presente apartado; la valoración económica que asigna un valor monetario a los servicios previamente medidos; y la valoración social de estos servicios que manifiesta los beneficios que son proporcionados a los receptores de ellos, incluyendo los valores psicológicos asociados con los bienes intangibles.

Los procesos naturales, también conocidos como interacciones biofísicas, ocurren de forma natural y permiten la vida en todas sus formas. Al analizar las interacciones biofísicas, en esencia estamos analizando los conceptos básicos de la ecología, o sea el estudio de los seres vivos y su interacción con otros seres vivos y su entorno físico. En este sentido la valoración biofísica constituye la base del proceso de valoración de los SE.

Entre los cinco estudios incluidos en esta sección, uno de ellos representa un ejercicio a nivel regional y los otros cuatro se desarrollan a nivel local en siete sitios. Estos estudios incluyen nueve ANP de interés federal, cinco ANP estatales y dos sitios que no son ANP. Los SE analizados en estos cinco casos incluyen: la provisión de madera y leña; almacenamiento aéreo de carbono; la conectividad y vulnerabilidad socioambiental; almacenamiento y secuestro de carbono en la biomasa aérea y subterránea, el carbono en el suelo y en la materia orgánica muerta; y el valor de los humedales. Los cinco estudios de caso incluidos en esta sección son los siguientes:

¹ Director de la Fundación BDM BioDiversidad Mexicana. Correo: juanbezaury@gmail.com

1. Contribución de la diversidad florística leñosa a la provisión de servicios ecosistémicos en Sierra de Vallejo

No obstante que el estudio fue realizado sobre la superficie de la propuesta de RB federal Sierra de Vallejo-Río Ameca, actualmente solo la Reserva de la Biosfera Estatal Sierra de Vallejo cuenta con un decreto de ANP y está incluida parcialmente en la propuesta antes aludida. Este análisis comprende el potencial de SE derivados del uso de la madera y leña, así como el almacenamiento aéreo de carbono. En las conclusiones se destaca que conservar la diversidad florística completa, incluyendo especies raras y endémicas, es esencial para sostener los SE, por lo que se recomienda incorporar los resultados en políticas públicas para fortalecer programas de conservación, manejo forestal comunitario, restauración ecológica y pagos por servicios ambientales en México.

2. Efectos de la perturbación antropogénica sobre el almacenamiento de carbono en bosques de galería de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

El análisis realizado exclusivamente en uno de los tipos de vegetación presentes en esta ANP. El análisis discriminante indica que las perturbaciones modifican significativamente la estructura del bosque, en cuanto a su altura, el diámetro a la altura del pecho y la cobertura de las especies entre sitios perturbados y no perturbados, afectando en consecuencia su capacidad de almacenamiento aéreo de carbono. En este sentido estrategias de manejo eficaces deberán integrar estas interacciones para mejorar la capacidad de captura de carbono y conservar la salud de los bosques ribereños.

3. Hacia la construcción de estrategias de manejo sustentable del paisaje a través de la valoración de la conectividad y la vulnerabilidad socioambiental en las Regiones Sierra y Costa de Chiapas

Mediante este estudio se determina el potencial de los paisajes de la región para mantener y mejorar el movimiento de especies, el flujo de genes y la transferencia de procesos ecológicos esenciales a través de corredores biológicos, ecosistemas en buen estado y hábitats interconectados. Asimismo, se propusieron los "Corredores de Sustentabilidad" como un intento por redefinir el paisaje a modo de un territorio político-ecológico donde se entrelazan especies, climas, suelos, normas y memorias comunitarias. En este territorio se localizan nueve ANP, cinco de estas de interés federal que incluyen, cuatro Reservas de la Biosfera (RB): El Triunfo, La Sepultura, Volcán Tacaná, así como al Área de Protección de Recursos Naturales Terrenos de los Municipios de La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villa Flores y Jiquipilas (La Frailesca) en la Región de la Sierra y la RB La Encrucijada en la Región de la Costa. Como ANP de interés del Estado de Chiapas se localizan dos zonas sujetas a conservación ecológica, Volcán Tacaná y Cordón Pico El Oro Paxtal en la Sierra, así como dos zonas sujetas a conservación El Cabildo Amatal y El Gancho Murillo en la Costa.

4. Servicios ecosistémicos en recuperación: logros y pendientes en el Parque Nacional Constitución de 1857 en 44 años

El resultado de este análisis subraya la efectividad de esta ANP, en cuanto a la restauración de la vegetación y la provisión de SE que incluyen el almacenamiento y secuestro de carbono en la: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono en el suelo y materia orgánica muerta, pero también evidencian los retos socioambientales persistentes, como lo sigue siendo el impacto causado por la ganadería.

5. Valores de conservación y amenazas en cuatro humedales bajacalifornianos

Los sitios estudiados incluyen porciones de dos RB el Complejo Lagunar Ojo de Liebre y Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y Salsipuedes, así como los sitios: Estero de Punta Banda y Bahía de San Quintín, ambos incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar, que carecen de protección como ANP. Estos humedales que aún se encuentran en buen estado de conservación, son comparados y contrastados a través de su valoración biofísica, social y económica. La valuación biofísica de su potencial como sumideros de "carbono azul" es resaltada como una prioridad de investigación.

La transdisciplinariedad como enfoque que va más allá de la simple colaboración entre disciplinas y que busca una integración más profunda y la transformación del conocimiento, nos permite abordar problemas complejos como la valoración integral de los bienes y servicios que nos brinda la naturaleza. Una colaboración que rebase los límites disciplinarios facilitará la construcción de un marco conceptual común y una participación más amplia de los diferentes actores sociales. El hacer partícipe a todos los mexicanos de los beneficios directos e indirectos que obtienen cotidianamente de la naturaleza en general y de las ANP en particular, provocará que cada vez más ciudadanos apoyen la conservación y, por lo tanto, que la inversión pública destinada a su cuidado, sea incrementada hasta alcanzar un nivel que garantice su persistencia a largo plazo. Es por tal motivo, que resulta necesario superar la brecha existente entre la investigación sobre los SE y su impacto práctico en la política pública. En este caso se requiere de la participación comprometida de los comunicadores, de los formadores de opinión pública y de los medios de comunicación, para favorecer la formación y consolidación de una conciencia social que favorezca tanto la disponibilidad de recursos financieros, como su utilización eficaz a través de la acción intra e intersectorial gubernamental y la participación de la sociedad civil comprometida en la protección de nuestro capital natural.

La valoración de SE en México requiere de una mayor cantidad y calidad de estudios biofísicos, económicos y sociales integrados, tanto de aquellos enfocados en sitios específicos como por ejemplo en las ANP, y las OMEC (otras medidas efectivas de conservación basadas en áreas), como a nivel nacional. En este sentido el estudio realizado por The Nature Conservancy (TNC) y la Conanp sobre "El valor de los bienes y servicios que las ANP proveen a los mexicanos", que sirvió en su momento para brindar una estimación de la magnitud de algunos valores que se generan en las ANP y compararlos con el monto de la inversión que se ejerció en 2008 en estas áreas, concluyó que, por cada peso del presupuesto federal invertido en ellas, las ANP aportaron a la economía nacional cuando menos 52 pesos. Este estudio fue compartido en su momento con los legisladores de la LX Legislatura del Congreso de la Unión y con los altos funcionarios de la SEMARNAT, lo cual ayudó en su momento a consolidar el presupuesto asignado a las ANP. Sin embargo, el estudio con sus más de 15 años de vida, ya se encuentra desactualizado, mientras que en este periodo se han desarrollado nuevos métodos y herramientas para cuantificar el valor de bienes y servicios más allá del turismo, agua y carbono valorados económicamente en su momento en el estudio. En este sentido además de seguir valorando los SE en sitios específicos, resulta urgente abordar el reto de estimar la magnitud, los beneficios sociales y el monto monetizado totales de estos servicios derivados de la existencia de las ANP y las OMEC a nivel nacional.

CAPÍTULO UNO

CONTRIBUCIÓN DE LA DIVERSIDAD FLORÍSTICA LEÑOSA A LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN SIERRA DE VALLEJO

Joanna J. Suárez-Torres ^{1,2}, Amairany Y. Ángeles-García ³, Pablo Carrillo-Reyes ⁴, Sandra Quijas ⁵

Resumen

Los bosques tropicales proveen una amplia variedad de servicios ecosistémicos derivados de la diversidad florística presente en ellos. En particular, las especies pueden contribuir a la función, y por ende al servicio, en proporción a su abundancia y a su rango de distribución. El objetivo del trabajo fue evaluar la contribución de la diversidad florística leñosa a la provisión de servicios ecosistémicos —madera, leña y almacenaje aéreo de carbono— en los bosques tropicales caducifolios y subcaducifolios en la porción nayarita de la Reserva de la Biosfera de Sierra de Vallejo-Río Ameca. A partir del censo de 15 sitios en el área de estudio, se registraron 1,550 individuos pertenecientes a 45 familias, 98 géneros, 132 especies y 32. Se registraron cinco especies como abundantes y por ende dominantes, *C. schiedeana*, *B. simaruba*, *B. alicastrum*, *A. revoluta* y *U. corallina*; mientras que se registraron 48 especies raras, es decir, con solo un individuo. Con respecto a su distribución, se registraron 23 especies endémicas a México, 83 nativas y cuatro exóticas. Los resultados muestran que, aunque unas pocas especies dominantes (como *Brosimum alicastrum* y *Ficus insipida*) concentran gran parte de los servicios, un conjunto amplio de especies comunes y raras también realiza contribuciones significativas. La mayoría de la provisión proviene de especies nativas, mientras que las especies exóticas tienen una participación marginal. Las conclusiones destacan que conservar la diversidad florística completa, incluyendo especies raras y endémicas, es esencial para sostener los servicios ecosistémicos. Se recomienda incorporar estos hallazgos en políticas públicas para fortalecer programas de conservación, manejo forestal comunitario, restauración ecológica y pagos por servicios ambientales en México.

Palabras clave: Madera, Leña, Almacenaje aéreo de carbono, Especies nativas, Especies endémicas, Especies dominantes, Especies raras

Abstract

Tropical forests provide a wide variety of ecosystem services derived from the floristic diversity present within them. In particular, species can contribute to ecosystem function and therefore to the provision of services, in proportion to their abundance and distribution range. The aim of this study was to evaluate the contribution of woody floristic diversity to the provision of ecosystem services, timber, firewood, and aboveground carbon storage in the tropical deciduous and semi-deciduous forests of the Sierra de Vallejo, Nayarit. Based on the census of 15 sites in the study area, 1,550 individuals were recorded, belonging to 45 families, 98 genera, 132 species, and 32 (note: this number seems incomplete or possibly a typo). Five species were identified as abundant and therefore dominant: *C. schiedeana*, *B. simaruba*, *B. alicastrum*, *A. revoluta*, and *U. corallina*, while 48 species were classified as rare, each represented by a single individual. In terms of distribution, 23 species were endemic to Mexico, 83 were native, and four were exotic. The results showed that although a few dominant species (such as *Brosimum alicastrum* and *Ficus insipida*) concentrate a large portion of ecosystem services, a broad set of common and rare species also make significant contributions. Most of the service provision comes from native species, while exotic species play a marginal role. The conclusions highlight that conserving the full floristic diversity, including rare and en-

1 Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (BEMARENA), Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco.

2 Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.

3 Herbario PV del Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco.

4 Herbario Luz María Villareal de Puga (IBUG), Departamento de Botánica y Zoología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco.

5 Laboratorio de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco.

demio species, is essential for sustaining ecosystem services. It is recommended that these findings be incorporated into public policy to strengthen conservation programs, community forest management, ecological restoration, and payments for environmental services in Mexico.

Keywords: Timber, Firewood, Aboveground carbon storage, Native species, Endemic species, Dominant species, Rare species

Introducción

Los bosques tropicales albergan la mayor diversidad de especies leñosas y presentan la tercera mayor extensión territorial en México (Challenger y Soberón, 2008). Los bosques tropicales se clasifican en tres tipos: bosques tropicales perennifolios (BTP), bosques tropicales subcaducifolios (BTSC) y bosques tropicales caducifolios (BTC) (Rzedowski, 2006). En México, los bosques tropicales originalmente ocuparon alrededor de 27% del país, de los cuales alrededor de 50% correspondían a BTC, el 11% a BTSC y el 39% a BTP (Rzedowski, 1990). Actualmente solo representan el 16%, principalmente como bosques tropicales en sucesión o secundarios (Challenger y Soberón, 2008). En particular, el BTC y BTSC son de los ecosistemas más amenazados del país. La deforestación a gran escala de estos bosques ha surgido a partir del impulso al reparto agrario, la revolución verde y el fomento agropecuario favorecieron la transformación de millones de hectáreas en áreas de cultivo, plantaciones y tierras de agostadero para la ganadería extensiva. Así mismo, la infraestructura para zonas urbanas y turismo a gran escala ha contribuido a la pérdida de estos bosques tropicales (Ceballos et al., 2010; Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010; Trejo y Dirzo, 2000). Ante los impactos y amenazas, remanentes de BTC y BTSC forman parte de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México por su valor para la conservación, ya que alberga gran cantidad de especies de flora y fauna que se encuentran en categorías de riesgo. Actualmente, el BTC y BTSC están representados en 70 de las 232 ANPs terrestres e insulares; en 47 se protege solo BTC, en 12 se protege BTSC y en 11 se protegen ambos tipos de bosques (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2023).

Los BTC y BTSC albergan una importante diversidad de especies leñosas (Ferry-Slik et al., 2015; Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010). A nivel mundial, se estima que los bosques tropicales tienen entre 40,000 a 53,000 especies leñosas (Ferry-Slik et al., 2015). En México, el BTC y BTSC cuentan con un poco más de 6,000 especies vegetales (Challenger y Soberón, 2008) de las 23,500 especies que se estiman para el país (Villaseñor, 2016). El 73% de las especies en estos bosques son endémicas al país (Banda-R et al., 2016), con un 25% a nivel de género y 40% a nivel de especie (Rzedowski, 1998, Challenger y Soberón, 2008). Los BTC presentan elementos leñosos con alturas menores a 15 y más del 75% de las especies pierden sus hojas en la época seca, mientras que el BTSC presenta alturas entre 15 y 30 m y del 50 a 75% de las especies pierden las hojas (Rzedowski, 2006). Debido a su estructura, composición y diversidad de especies los BTC y BTSC representan unidades ecológicas de gran valor biológico, cultural y económico en las regiones tropicales (Ceballos et al., 2010).

Los BTC y BTSC proveen una amplia variedad de servicios ecosistémicos derivados de la diversidad florística presente en ellos (Calvo-Rodríguez et al., 2016; Quijas et al., 2019). Entre los servicios ecosistémicos que se han cuantificado se encuentran los servicios de provisión, como los alimentos cultivados o silvestres, la madera, la leña; de los servicios de regulación, como el almacenaje y secuestro de carbono, regulación de plagas y enfermedades, regulación de la erosión de los suelos, regulación de la cantidad y calidad del agua; de los servicios de soporte, como el ciclo de nutrientes y formación del suelo; y de los servicios culturales, como son el turismo y recreación, la belleza escénica, entre otros (MAE 2005; Balvanera y Maass, 2010; Maass et al., 2005). Dentro de los servicios ecosistémicos más ampliamente cuantificados en los BTC y BTSC se encuentran el almacén aéreo de carbono (Soto-Correa et al., 2019; Mori et al., 2016; Martínez-Harms, 2010) y la cantidad de madera (Ordóñez-Díaz, 2015; Martínez-Harms, 2010). Actualmente la diversidad florística presente en los BTC y BTSC se encuentra amenazada y por ende la provisión de estos servicios (Balvanera y Maass, 2010). En este sentido, comprender la relación entre la diversidad florística y su papel en el funcionamiento del ecosistema es crucial para el diseño de estrategias de conservación y manejo sostenible de los servicios y beneficios que proveen.

La evaluación de la contribución de la diversidad florística a los servicios ecosistémicos permite identificar especies clave, a partir de su abundancia relativa y su rango de distribución (Balvanera et al., 2005). En los ecosistemas, la abundancia de especies está fuertemente sesgada; es decir, existen pocas especies dominantes y la mayoría son raras dentro de las comunidades. Una especie dominante es aquella con alta abundancia relativa o biomasa. En general, unas pocas especies abundantes y funcionalmente dominantes impulsan los cambios en las funciones ecológicas, mientras que muchas especies raras, pero funcionalmente poco importantes, impulsan la riqueza (Quijas y Balvanera, 2024). A menudo se asume que las especies raras contribuyen poco al funcionamiento del ecosistema y a la generación de servicios ecosistémicos, pero se ha acumulado evidencia de que las especies raras pueden contribuir sustancialmente de manera directa e indirecta a algún servicio a través de las interacciones de especies y la presencia de características funcionales únicas (Dee et al., 2019). Así mismo,

la distribución de las especies en medio silvestre, o comunmente llamado origen, suele ser importante en el funcionamiento del ecosistema. Esto es particularmente relevante en los bosques tropicales dado su notable endemismo florístico (Lott y Atkinson, 2010). El endemismo hace referencia al aislamiento de una especie o grupo de especies a un área geográfica específica, y que no es posible encontrar en ningún otro lado, además de que gracias a diversos factores que favorecen a la concentración de especies en una área restringida siendo algunos como la larga permanencia de la región en calidad de tierra emergida y no estar sujeta a condiciones ambientales catastróficas, alta diversidad fisiográfica, geológica, edáfica, y por ende biótica de la región que favorece no solo la presencia de especies endémicas, sino también nativas (Lott y Atkinson 2010; Rzedowski, 1991). Las especies pueden contribuir a la función, y por ende al servicio ecosistémico, en proporción a su abundancia y a su rango de distribución en los BTC y BTSC (Balvanera et al., 2005; Arechiga 2023).

Se ha avanzado en entender como las especies vegetales contribuyen a la provisión de uno o varios servicios ecosistémicos dentro de los bosques tropicales, considerando su abundancia, pero no su distribución en medio silvestre. Soto-Correa et al. (2019) muestran como 22 especies de BTC contribuye a la provisión del servicio de almacenaje aéreo de carbono, solo consideran importante la identidad de la especie, más no la abundancia. En tanto que Balvanera et al. (2005) muestran la contribución relativa de las especies leñosas al servicio de almacenaje aéreo de carbono, siendo las especies más abundantes las que contribuyen con el mayor porcentaje del servicio, mientras que la mayoría de las especies, con poca abundancia o raras, contribuyen con una mínima fracción del almacenaje. El conocimiento de cuándo y en qué medida las especies, ya sean abundantes o raras, endémicas o nativas, pueden contribuir a los servicios es importante, sobre todo en situaciones con múltiples objetivos, como la conservación, la protección de la biodiversidad y provisión de servicios ecosistémicos, están más o menos alineados.

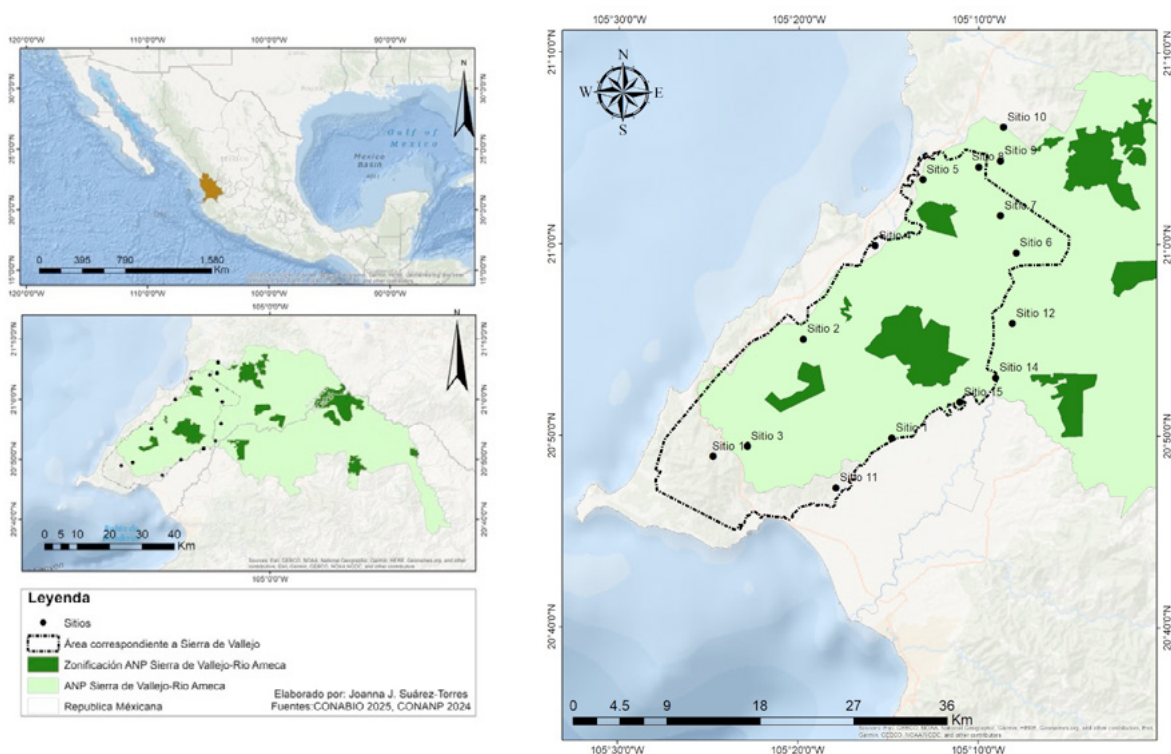
El BTC y BTSC de Sierra de Vallejo son parte de la recién decretada Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca (CONANP, 2023). A la fecha, son escasos los estudios en estos bosques tropicales de Sierra de Vallejo, principalmente se caracterizado la diversidad y composición de especies (Ramírez-Delgadillo y Cupul-Magaña 1999; Tejero-Díez et al., 2008; Gómez-Flores 2011; Ángeles-García et al., 2022) y la estructura de las comunidades vegetales (Bravo-Bolaños et al., 2013, 2016). A la fecha, hay una falta de información sobre el funcionamiento y los servicios ecosistémicos que proveen los BTC y BTSC de esta ANP. Ante tal panorama, el objetivo de este trabajo es evaluar la provisión de servicios ecosistémicos del BTC y BTSC de Sierra de Vallejo, Nayarit, a partir de la caracterización de la riqueza, composición y abundancia de las especies vegetales leñosas ahí presentes. En particular, se determinó la contribución individual de las especies leñosas a la provisión total de los servicios ecosistémicos de madera, leña y almacenaje aéreo de carbono, considerando la su abundancia relativa y su distribución en medio silvestre. Los estudios que abordan de manera integral la relación entre la diversidad florística y su contribución a los servicios ecosistémicos en bosques tropicales son escasos (Balvanera et al., 2005; Soto-Correa et al., 2019). Esta falta de información limita la toma de decisiones basadas en evidencia para la conservación de estos bosques, especialmente frente a los crecientes cambios en el uso del suelo por actividades antrópicas que ocurren en Sierra de Vallejo, como son la agricultura y la ganadería, que tienen efectos negativos sobre la diversidad del BTC y BTSC (Gómez-Mora et al., 2005; Suárez-Torres 2020). Se espera que la información generada mediante un enfoque interdisciplinario que integra inventarios florísticos, análisis ecológicos y valoración de servicios ecosistémicos, genere conocimiento que apoye tanto la conservación como el desarrollo sostenible en la región de Sierra de Vallejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área y sitios de estudio

La Sierra de Vallejo se encuentra al sur del estado de Nayarit, localizada en la zona donde coinciden las provincias fisiográficas: Sierra Madre del Sur y Eje Neovolcánico Transversal (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020; CONANP, 2012) (Mapa. 1). El área se encuentra entre las coordenadas extremas 20°45'-21°04' latitud N y 105°09'-105°23' longitud O, como parte del ANP Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca (CONANP, 2023). Esta área es de especial interés por la mezcla de varios tipos de vegetación, entre los que destacan el bosque tropical caducifolio (BTC) y subcaducifolio (BTSC) que ocupan el 60 % de la superficie, además presenta bosque espinoso, manglar, palmar y vegetación acuática (Martínez y Ceballos, 2010; CONANP, 2023). El área de estudio comprende un área de 636.03 Km², presentando clima cálido subhúmedo con lluvias todo el año, precipitación total anual superior a 1,200 mm, temperatura media anual mayor a 22 °C, y altitudes de los 0 a 1,400 msnm, con 20 comunidades o poblaciones humanas (Suárez-Torres, 2020).

Mapa 1. Delimitación del área de estudio en Sierra de Vallejo, Nayarit, considerando la ubicación de los sitios censados.



Fuente: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO] 2025; CONANP, 2025.

Dentro del polígono de Sierra de Vallejo, se seleccionaron 15 sitios que estuvieran dentro de fragmentos de BTC y BTSC, basados en imágenes de percepción remota (Fig. 1). Los criterios para seleccionar un sitio fueron: i) una distancia mínima de 3 km entre sitios seleccionados, ii) sitios solo con vegetación de BTC y BTSC, descartando aquellos sitios que presentaran vegetación secundaria o de sucesión, y iii) sitios de fácil acceso. De los sitios seleccionados, 13 estuvieron dentro de fragmentos de BTC y BTSC con manejo evidente, mientras que 2 sitios se ubicaron dentro de BTC y BTSC conservado o sin manejo.

Censos de vegetación

De agosto del 2017 a mayo del 2018, en cada sitio seleccionados se estableció un cuadrante de 20 m de ancho por 50 m de largo. En cada cuadrante se censaron e identificaron todos los individuos leñosos y arbustivos con un perímetro a la altura del pecho (PAP) ≥ 10 cm (= DAP ≥ 3 cm). A cada individuo leñoso se le midió el perímetro, el cual se convirtió a área basal (AB). Así mismo, se determinó la altura total (AT) con un medidor láser. Los censos de vegetación se realizaron durante los meses de mayor precipitación mensual y máxima producción de hojas, esto con el fin de facilitar la identificación de las especies. Sin embargo, para algunas de ellas se requirió de una segunda salida durante la temporada seca para la colecta de flores y frutos. Esta segunda etapa de censo se realizó solo en cinco sitios durante abril del 2018. En el caso de los individuos no identificados en campo se tomaron fotografías digitales y se colectaron ejemplares de herbario para su posterior cotejo con los ejemplares del Herbario Luz María Villarreal de Puga (IBUG), el cual se encuentra en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Los ejemplares botánicos se encuentran depositados en el Herbario IBUG y el Herbario PV del Centro Universitario de la Costa.

Diversidad florística de leñosas

La diversidad se definió como la cantidad de especies leñosas presentes en todos los sitios de bosque tropical (Laforteza et al., 2009). El nombre de las especies se verificó en la base de datos digital de plantas vasculares Trópicos (<http://tropicos.org/>). La distribución en medio silvestre de las especies vegetales se consultó en Trópicos y en el trabajo de Villaseñor (2016). Las especies leñosas se clasificaron en cuatro categorías:

Endémica a México (En): distribución restringida a México o parte de su territorio.

Nativa (Na): distribución que suele contemplar parte o totalidad de México; encontrarse en México y Estados Unidos, México y Mesoamérica o México y Sudamérica.

Exótica (Ex): el área de distribución original es Sudamérica, Europa, Asia, África u Oceanía.
No definido (ND): fueron aquellas especies que solo fueron identificadas a nivel de familia, género o quedaron como morfoespecie.

Servicios ecosistémicos

La elección de los servicios ecosistémicos considerados en este estudio se basó en dos criterios. Primero, la factibilidad de obtener las medidas estructurales de los individuos leñosos en campo, es decir, el diámetro del tronco y la altura total; segundo, que son los servicios para los cuales se cuantifica más frecuentemente su suministro potencial en bosques tropicales caducifolios (Quijas et al., 2019). A continuación, se definen cada uno de ellos y se muestra como fueron cuantificados a partir de los datos obtenidos en campo.

Madera

El servicio ecosistémico de madera se definió como la biomasa aérea de especies vegetales con uso potencial maderable (Martínez-Harms, 2010), cuyos individuos tengan un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 10 cm (igual a 30 cm de perímetro a la altura del pecho). El cálculo de madera considera el valor de área basal y la altura total del individuo, para obtener el volumen maderable (m^3) por unidad de superficie (ha), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Madera (m}^3\text{/ha)} = \sum AB \cdot h \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

AB: Área basal de cada individuo leñoso con DAP > 10 cm (m^2)

h: altura total de cada individuo leñoso con DAP > 10 cm (m)

Leña

El servicio ecosistémico de leña se definió como toda la biomasa aérea leñosa con uso potencial para biocombustible, considerando solo a los individuos leñosos con un DAP menor a 10 cm (Martínez-Harms, 2010). La biomasa aérea fue calculada con la siguiente ecuación:

$$1. \text{ Leña (t/ha)} = 10^{(-0.5352+0.996(AB))} \quad \text{Ecuación 2}$$

2. Donde:

3. AB: Área Basal (m^2)

Almacenaje de carbono

El servicio ecosistémico de almacenaje aéreo de carbono se definió como la biomasa aérea acumulada solo en el tronco de las especies leñosas, resultado de la captura de CO_2 (Martínez-Harms, 2010). El almacenaje aéreo de carbono se calculó a partir de la suma de la biomasa total de cada uno de los individuos leñosos por cada cuadrante, considerando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Almacenaje aéreo de carbono (ton/ha)} = 0.5 * \text{Biomasa} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Biomasa} = -0.5352 + 0.996 (AB) \quad \text{Ecuación 4}$$

Contribución de las especies leñosas a la provisión total del servicio ecosistémico

La contribución de cada especie leñosa a la provisión total de cada servicio ecosistémico fue determinada a partir del aporte de los individuos de cada especie al servicio (Balvanera et al., 2005). La contribución relativa de cada especie leñosa a la provisión total de cada servicio fue determinada a partir de la siguiente ecuación:

$$r_j = n_j / N \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

r_j : Contribución relativa al servicio ecosistémico

n_j : Contribución de la especie leñosa al servicio ecosistémico

N: Suministro total del servicio ecosistémico

La visualización de la contribución de cada especie leñosa a la provisión total de cada servicio ecosistémico considero tanto su distribución en medio silvestre como su abundancia total. Un primer análisis consideró las curvas de acumulación para mostrar como el servicio ecosistémico se va acumulando a través de agregar a las especies leñosas, mostrando su distribución en medio silvestre. Un segundo análisis considero la contribución relativa de las especies a la provisión del servicio, mostrando si se trataba de una especie dominante, común o rara. De acuerdo a su abundancia total, las especies dominantes presentaron más de 45 individuos, las especies comunes presentaron entre 2 a 45 individuos y las especies raras presentaron solo un individuo.

RESULTADOS

Diversidad florística

Se censaron un total de 1,550 individuos leñosos pertenecientes a 45 familias, 98 géneros, 132 especies y 32 morfoespecies (Tabla 1, Imagen. 1). Las familias más abundantes fueron Fabaceae (21 especies) y Rubiaceae (14 especies), mientras 19 familias solo cuentan de una especie. Se registraron cinco especies como abundantes y por ende dominantes, *C. schiedeana*, *B. simaruba*, *B. alicastrum*, *A. revoluta* y *U. corallina*; mientras que se registraron 48 especies raras, es decir, con solo un individuo. Con respecto a su distribución en medio silvestre, se registraron 23 especies endémicas a México, 83 nativas, cuatro exóticas y 22 especies con distribución no definida, que son las especies identificadas hasta género, familia o como morfoespecie.

Tabla 1. Servicios ecosistémicos de las especies leñosas encontradas en Sierra de Vallejo, Nayarit. La distribución en medio silvestre (DMS) son endémica a México (En), nativa (Na), exótica (Ex) y no definido (ND). Ab= abundancia o número de individuos

No.	Familia	Nombre científico	Ab	DMS	Madera (m³/ha)	Leña (ton/ha)	Alm. aéreo de carbono (ton/ha)
1	Acanthaceae	<i>Bravaisia integerrima</i> (Spreng.) Standl.	9	Na	0.03	0.010	0.025
2	Anacardiaceae	<i>Amphipterygium adstringens</i> (Schltdl.) Standl.	2	En	1.50	---	0.221
3	Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	2	Na	0.38	0.001	0.060
4	Anacardiaceae	<i>Comocladia engleriana</i> Loes.	6	Na	---	0.005	0.011
5	Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> L.	9	Na	12.67	---	1.861
6	Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i> L.	7	Na	0.71	0.006	0.127
7	Annonaceae	<i>Annona cherimola</i> Mill.	3	Ex	---	0.003	0.009
8	Annonaceae	<i>Cymbopetalum hintonii</i> Lundell	1	Na	0.19	---	0.028
9	Apocynaceae	<i>Cascabela ovata</i> (Cav.) Lippold	1	Na	0.03	---	0.004
10	Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i> L.	3	Na	0.37	---	0.055
11	Apocynaceae	<i>Stemmadenia grandiflora</i> (Jacq.) Miers	5	Na	0.17	0.003	0.030
12	Apocynaceae	<i>Tabernaemontana amygdalifolia</i> Jacq.	1	Na	---	0.003	0.005
13	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	23	Na	13.93	0.138	2.060
14	Arecaceae	<i>Attalea cohune</i> Mart.	18	Na	17.55	0.009	2.595
15	Arecaceae	<i>Cryosophila nana</i> (Kunth) Blume ex Salomon	6	En	0.12	0.005	0.028
16	Asteraceae	<i>Verbesina fastigiata</i> B.L. Rob. & Greenm.	6	Na	---	0.010	0.027
17	Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i> (Jacq.) S.O. Grose	1	Na	0.04	---	0.006
18	Bignoniaceae	<i>Roseodendron donnell-smithii</i> (Rose) Miranda	18	Na	3.39	0.005	0.510
19	Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	3	Na	0.32	0.001	0.050
20	Bignoniaceae	<i>Tabebuia</i> sp.	3	ND	0.20	0.000	0.030
21	Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	28	Na	0.54	0.023	0.134
22	Bixaceae	<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	6	Na	3.29	---	0.484
23	Burseraceae	<i>Bursera excelsa</i> (Kunth) Engl.	2	En	---	0.002	0.005
24	Burseraceae	<i>Bursera roseana</i> Rzed., Calderón & Medina	4	En	0.36	0.002	0.058

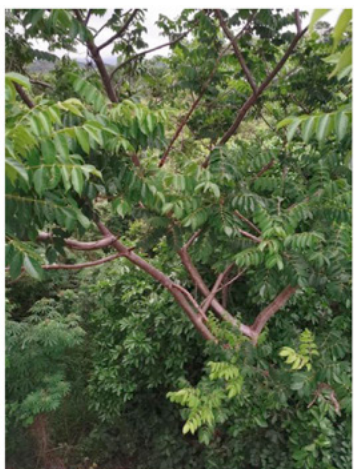
25	Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	111	Na	41.19	0.098	6.275
26	Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	7	Na	1.60	0.005	0.258
27	Cannabaceae	<i>Aphananthe monoica</i> (Hemsl.) J.-F. Leroy	4	Na	2.15	0.000	0.566
28	Capparaceae	<i>Crateva tapia</i> L.	1	Na	---	0.001	0.002
29	Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Presl	1	Na	---	0.001	0.001
30	Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	6	Na	24.94	---	3.645
31	Caricaceae	<i>Jacaratia mexicana</i> A.DC.	40	Na	22.41	0.009	3.318
32	Chrysobalanaceae	<i>Couepia polyandra</i> (Kunth) Rose	6	Na	2.69	0.001	0.400
33	Chrysobalanaceae	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	1	Na	---	0.000	0.001
34	Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	16	Na	0.26	0.009	0.062
35	Ebenaceae	<i>Diospyros sinaloensis</i> S.F Blake	1	Na	0.13	---	0.020
36	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum mexicanum</i> Kunth	4	Na	0.10	0.004	0.024
37	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus</i> sp.	5	ND	0.35	0.002	0.058
38	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus spinosus</i> Lundell	40	En	---	0.017	0.016
39	Euphorbiaceae	<i>Croton schiedeana</i> Schtdl.	175	Na	6.10	0.223	1.487
40	Euphorbiaceae	<i>Hura polyandra</i> Baill.	20	Na	25.91	0.002	3.800
41	Euphorbiaceae	<i>Jatropha platyphylla</i> Müll.Arg.	3	En	---	0.003	0.016
42	Euphorbiaceae	<i>Manihot</i> sp.	8	ND	0.37	0.007	0.084
43	Euphorbiaceae	<i>Sapium macrocarpum</i> Müll.Arg.	2	Na	0.10	0.001	0.020
44	Fabaceae	<i>Bauhinia divaricata</i> L.	1	Na	---	0.006	0.010
45	Fabaceae	<i>Caesalpinia</i> sp.	4	ND	---	0.003	0.005
46	Fabaceae	<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	7	Na	0.60	0.009	0.136
47	Fabaceae	<i>Coursetia mollis</i> (Kunth) J.F. Macbr.	11	En	2.32	0.006	0.366
48	Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.)	6	Na	71.05	---	10.371
49	Fabaceae	<i>Erythrina lanata</i> Rose	6	En	1.45	0.002	0.220
50	Fabaceae	<i>Erythrina</i> sp.	1	ND	1.89	---	0.277
51	Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i> Kunth ex Steud.	5	En	93.67	0.003	13.551
52	Fabaceae	<i>Inga andersonii</i> McVaugh	3	En	1.80	---	0.264
53	Fabaceae	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.	2	Na	0.08	---	0.013
54	Fabaceae	<i>Leucaena macrophylla</i> Benth.	5	En	0.45	0.002	0.071
55	Fabaceae	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i> Benth.	1	Na	---	0.001	0.003
56	Fabaceae	<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth.	6	Na	3.29	---	0.485
57	Fabaceae	<i>Lysiloma divaricatum</i> (Jacq.) J. F. Macbr.	34	Na	5.52	0.002	0.837
58	Fabaceae	<i>Lysiloma</i> sp.	5	ND	0.55	0.009	0.085
59	Fabaceae	<i>Machaerium</i> sp.	9	ND	0.02	0.007	0.024
60	Fabaceae	Morfoespecie 18	1	ND	---	0.001	0.004
61	Fabaceae	Morfoespecie 51	10	ND	0.54	0.002	0.084
62	Fabaceae	<i>Swartzia simplex</i> (Sw.) Spreng.	28	Na	0.11	0.066	0.164

63	Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn	1	Na	0.11	---	0.017
64	Fabaceae	<i>Vachellia hindsii</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	11	Na	4.42	0.004	0.663
65	Lamiaceae	<i>Vitex hemsleyi</i> Briq.	4	Na	0.20	0.001	0.032
66	Lauraceae	<i>Licaria</i> sp.	1	ND	---	0.003	0.005
67	Lauraceae	<i>Nectandra glabrescens</i> Benth.	14	Na	2.03	0.032	0.327
68	Malastomataceae	<i>Miconia xalapensis</i> (Bonpl.) M.Gómez	20	Na	0.09	0.017	0.062
69	Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	22	Na	2.54	0.007	0.396
70	Malvaceae	<i>Heliocarpus occidentalis</i> Rose	12	En	2.74	0.012	0.455
71	Malvaceae	<i>Heliocarpus pallidus</i> Rose	26	En	3.75	0.010	0.580
72	Malvaceae	<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	19	Ex	1.56	0.113	0.504
73	Malvaceae	<i>Luehea candida</i> (Moc. & Sessé ex DC.) Mart.	1	Na	1.17	---	0.172
74	Malvaceae	<i>Luehea speciosa</i> Willd.	2	Na	---	0.001	0.001
75	Malvaceae	<i>Pseudobombax ellipticum</i> (Kunth) Dugand.	13	Na	5.33	0.004	0.800
76	Malvaceae	<i>Pseudobombax palmeri</i> (S. Watson) Dugand.	3	En	1.39	0.002	0.212
77	Melastomataceae	<i>Conostegia</i> sp.	3	ND	---	0.004	0.007
78	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	7	Na	0.58	0.002	0.092
79	Meliaceae	<i>Trichilia hirta</i> L.	1	Na	---	0.0002	0.0003
80	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	70	Na	221.33	0.006	32.389
81	Moraceae	<i>Castilla elastica</i> Cerv.	8	Na	0.08	0.005	0.035
82	Moraceae	<i>Ficus cotinifolia</i> Kunth	1	Na	4.15	---	0.607
83	Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willd.	5	Na	182.61	---	26.460
84	Moraceae	<i>Ficus petiolaris</i> Kunth	1	En	6.43	---	0.940
85	Moraceae	<i>Ficus</i> sp.	5	ND	15.92	---	2.326
86	Moraceae	Morfoespecie 17	11	ND	0.90	0.010	0.151
87	Myrtaceae	<i>Eugenia acapulcensis</i> Steud.	1	Na	---	0.001	0.003
88	Myrtaceae	<i>Eugenia capuli</i> (Schltdl. & Cham.) Hook. & Arn.	5	Na	0.06	0.003	0.017
89	Myrtaceae	<i>Eugenia salamensis</i> Donn.Sm.	30	Na	2.02	0.078	0.440
90	Myrtaceae	<i>Psidium sartorianum</i> (O. Berg) Nied.	13	Na	0.24	0.057	0.130
91	Nyctaginaceae	<i>Pisonia aculeata</i> L.	4	Na	---	0.007	0.012
92	Nyctaginaceae	<i>Pisonia capitata</i> (S. Watson) Standl.	2	En	---	0.002	0.007
93	Ochnaceae	<i>Ouratea madrensis</i> L. Riley	1	Na	---	0.001	0.003
94	Opiliaceae	<i>Agonandra racemosa</i> (DC.) Standl.	4	Na	0.19	0.002	0.033
95	Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus mocinianus</i> Baill.	1	En	---	0.001	0.001
96	Picramiaceae	<i>Picramnia antidesma</i> Sw.	2	Na	---	0.003	0.005
97	Piperaceae	<i>Piper jaliscanum</i> S. Watson.	6	En	0.83	0.004	0.136

98	Piperaceae	<i>Piper</i> sp.	1	ND	---	0.0004	0.0005
99	Polygonaceae	<i>Ruprechtia pallida</i> Standl.	4	Na	---	0.012	0.056
100	Primulaceae	<i>Ardisia compressa</i> Kunth	1	Na	---	0.001	0.001
101	Primulaceae	<i>Ardisia revoluta</i> Kunth	60	Na	7.44	0.116	1.335
102	Primulaceae	<i>Ardisia</i> sp.	1	ND	---	0.001	0.001
103	Primulaceae	<i>Bonellia macrocarpa</i> subsp. <i>pungens</i> (A. Gray) B.Ståhl & Källersjö	3	Na	12.20	0.001	1.764
104	Rhamnaceae	<i>Karwinskia latifolia</i> Standl.	5	En	0.63	0.001	0.096
105	Rubiaceae	<i>Chiococca alba</i> (L.) Hitchc.	5	Na	0.27	0.002	0.043
106	Rubiaceae	<i>Chiococca</i> sp.	8	ND	1.42	0.001	0.212
107	Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i> L.	18	Ex	---	0.014	0.027
108	Rubiaceae	<i>Faramea occidentalis</i> (L.) A. Rich.	19	Na	0.00	0.014	0.025
109	Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	2	Na	---	0.006	0.008
110	Rubiaceae	<i>Hintonia latiflora</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Bullock	3	En	0.16	0.001	0.027
111	Rubiaceae	Morfoespecie 10	1	ND	---	0.000	0.001
112	Rubiaceae	Morfoespecie 42	7	ND	---	0.007	0.015
113	Rubiaceae	Morfoespecie 7	1	ND	---	0.001	0.001
114	Rubiaceae	Morfoespecie 8	7	ND	1.28	0.050	0.336
115	Rubiaceae	<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.	33	Na	0.18	0.030	0.076
116	Rubiaceae	<i>Randia induta</i> Standl	1	En	---	0.001	0.001
117	Rubiaceae	<i>Rogiera langlassei</i> (Standl.) Borhidi.	2	En	---	0.001	0.003
118	Rubiaceae	<i>Sommera grandis</i> (Bartl. ex DC.) Standl.	3	En	0.71	---	0.105
119	Rutaceae	<i>Citrus X limon</i> (L.) Osbeck	1	Ex	---	0.0004	0.0004
120	Salicaceae	<i>Casearia corymbosa</i> Kunth	19	Na	1.28	0.008	0.202
121	Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	19	Na	0.02	0.015	0.036
122	Salicaceae	<i>Xylosma flexuosa</i> (Kunth) Hemsl.	1	Na	---	0.001	0.001
123	Santaleaceae	<i>Phoradendron</i> sp.	10	ND	2.13	0.003	0.320
124	Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L.	5	Na	---	0.004	0.009
125	Sapindaceae	<i>Thouinia acuminata</i> S. Watson	32	Na	5.71	0.022	0.897
126	Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum</i> (Bonpl.) Radlk.	2	Na	2.31	---	0.341
127	Sapotaceae	<i>Pouteria campechiana</i> (Kunth) Baehni	1	Na	---	0.001	0.005
128	Sapotaceae	<i>Pouteria</i> sp.	10	ND	0.19	0.004	0.039
129	Sapotaceae	<i>Sideroxylon capiri</i> (A. DC.) Pittier.	1	Na	0.54	---	0.079
130	Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i> DC.	2	Na	---	0.002	0.003
131	Urticaceae	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	16	Na	1.67	0.005	0.261
132	Urticaceae	<i>Urera corallina</i> (Liebm.) Wedd.	46	Na	3.96	0.068	0.843

Fuente: elaboración propia.

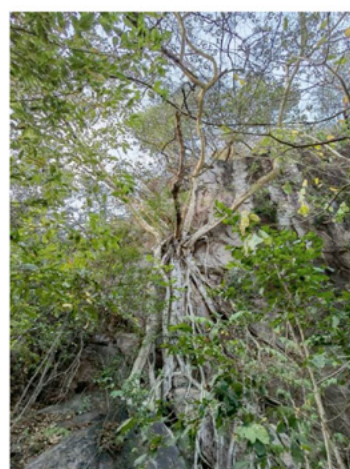
Imagen 1. Ejemplos de especies leñosas registrados en Sierra de Vallejo, Nayarit. Fotografías de Pablo Carrillo-Reyes, Alexis Cervando Reyes Ruíz, Sandra Quijas.



Bursera simaruba
Burseraceae



Brosimum alicastrum
Moraceae



Ficus petiolaris
Moraceae



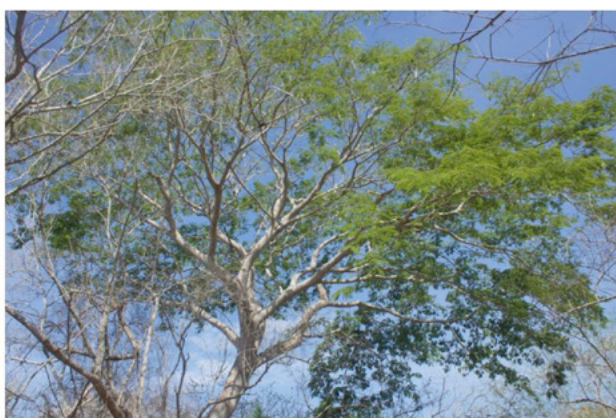
Attalea cohune
Arecaceae



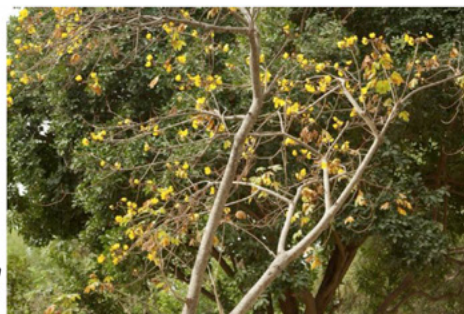
Hura polyandra
Euphorbiaceae



Jacaratia mexicana
Caricaceae



Enterolobium cyclocarpum
Fabaceae



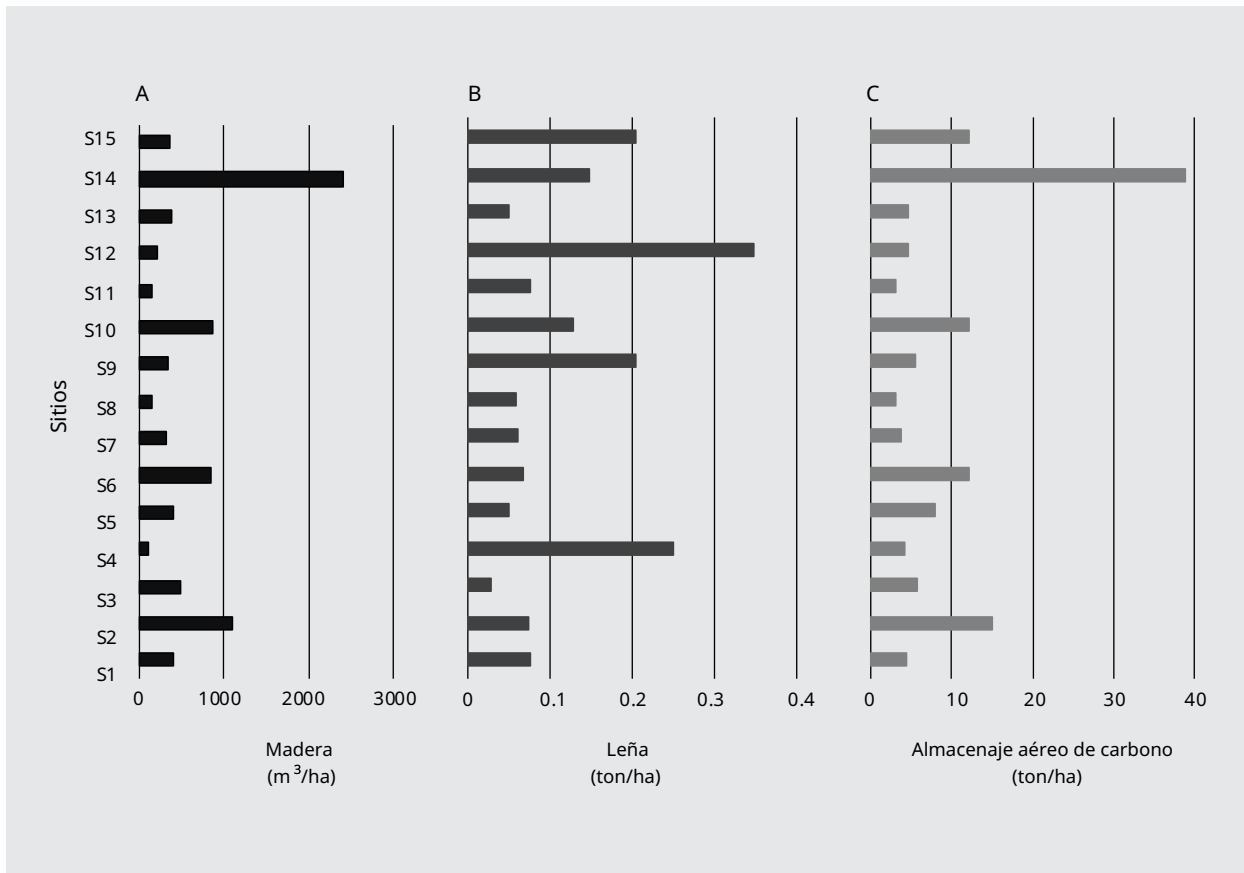
Cochlospermum vitifolium
Bixaceae

Fuente: elaboración propia.

Servicios ecosistémicos

La provisión de los servicios ecosistémicos osciló entre los sitios censados (Fig. 1). La provisión de madera disponible en un área de 1 ha osciló entre 106.8 y 2,665.7 m³ (Fig. 1a), mientras que la leña (Fig. 1b) y de almacenamiento aéreo de carbono (Fig. 1c) en la misma área osciló entre 0.013 y 0.402 ton/ha, y 2.2 y 38.8 ton/ha, respectivamente. Entre sitios, el sitio S14 presentó la mayor disponibilidad de madera y almacenaje de carbono, mientras que el sitio S12 fue el más alto en la disponibilidad de leña. Los valores más bajos de disponibilidad de madera y almacenamiento de carbono se presentaron en el sitio S4, mientras que para leña fue en el sitio S14.

Figura 1. Provisión potencial de los servicios ecosistémicos cuantificados en los sitios censados en Sierra de Vallejo, Nayarit.

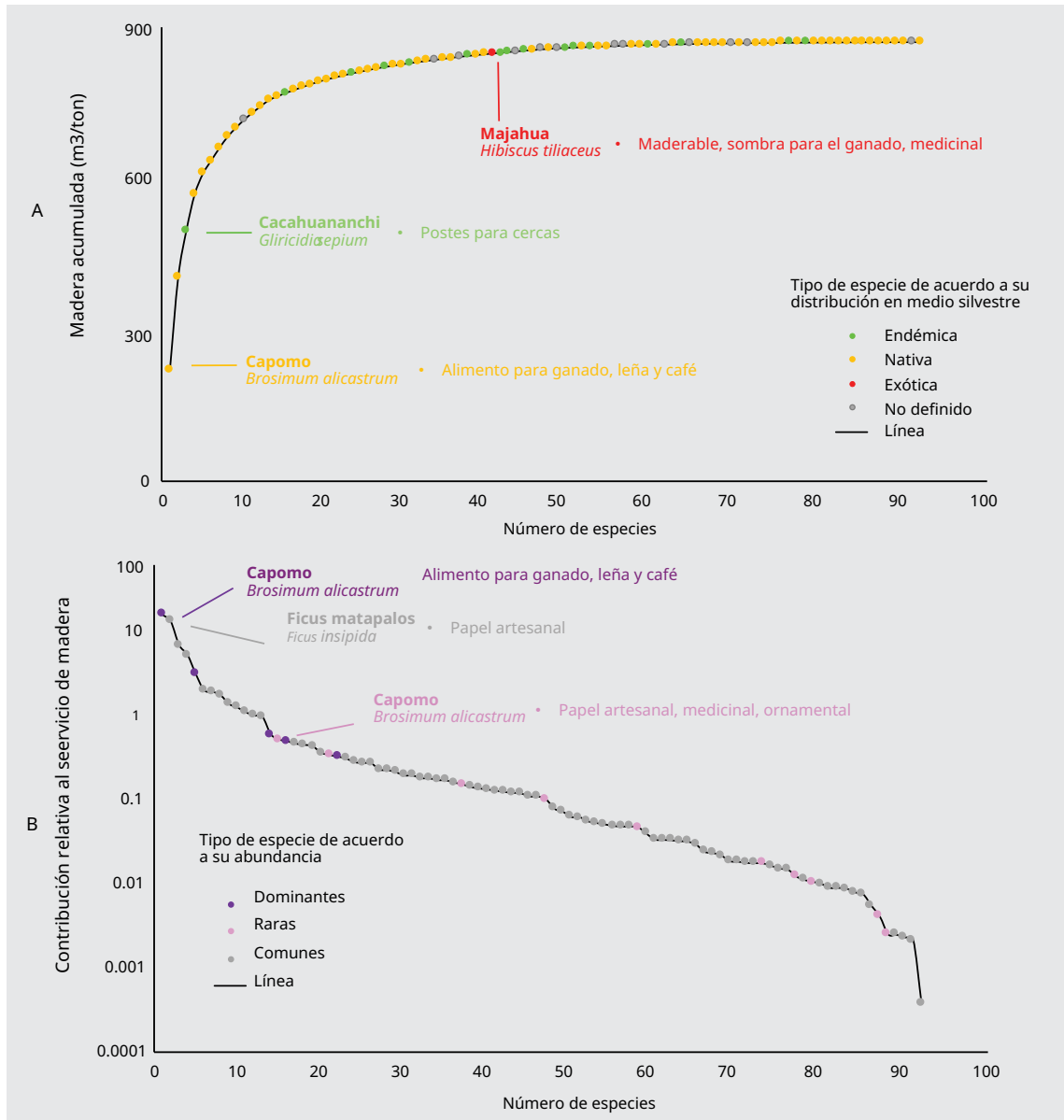


Fuente: elaboración propia.

Madera

De los 1,550 individuos presentes dentro de los sitios de Sierra de Vallejo, Nayarit, el 68% de las especies y morfoespecies (632 individuos, 41% del total) contribuyeron a la potencial provisión de 937 m³/ha de madera (Fig. 2). De las 111 especies identificadas que proveen el servicio de madera, dos especies nativas (*B. alicastrum*, *F. insipada*) y una endémica a México (*G. sepium*) contribuyeron con el 53% del total del servicio (Fig. 2a). Las 16 especies endémicas con 60 individuos contribuyen al 13% de la provisión de madera. Las 62 especies nativas con 492 individuos contribuyen con el 77% de la provisión del servicio. Solo una especie exótica, *H. tiliaceus*, contribuyó con 2 m³/ha de madera, que equivale solo al 0.17% del servicio. En tanto que las cinco especies más abundantes y dominantes (190 individuos) contribuyeron con 30% de la provisión total de madera (Fig. 2b). Las 15 especies raras contribuyeron con el 8% de la provisión del servicio. Finalmente, 91 especies comunes (427 individuos) contribuyeron con el 62% del total del servicio.

Figura 2. Contribución de las especies leñosas a la provisión potencial de madera en los sitios de BTC y BTSC de Sierra de Vallejo, Nayarit.

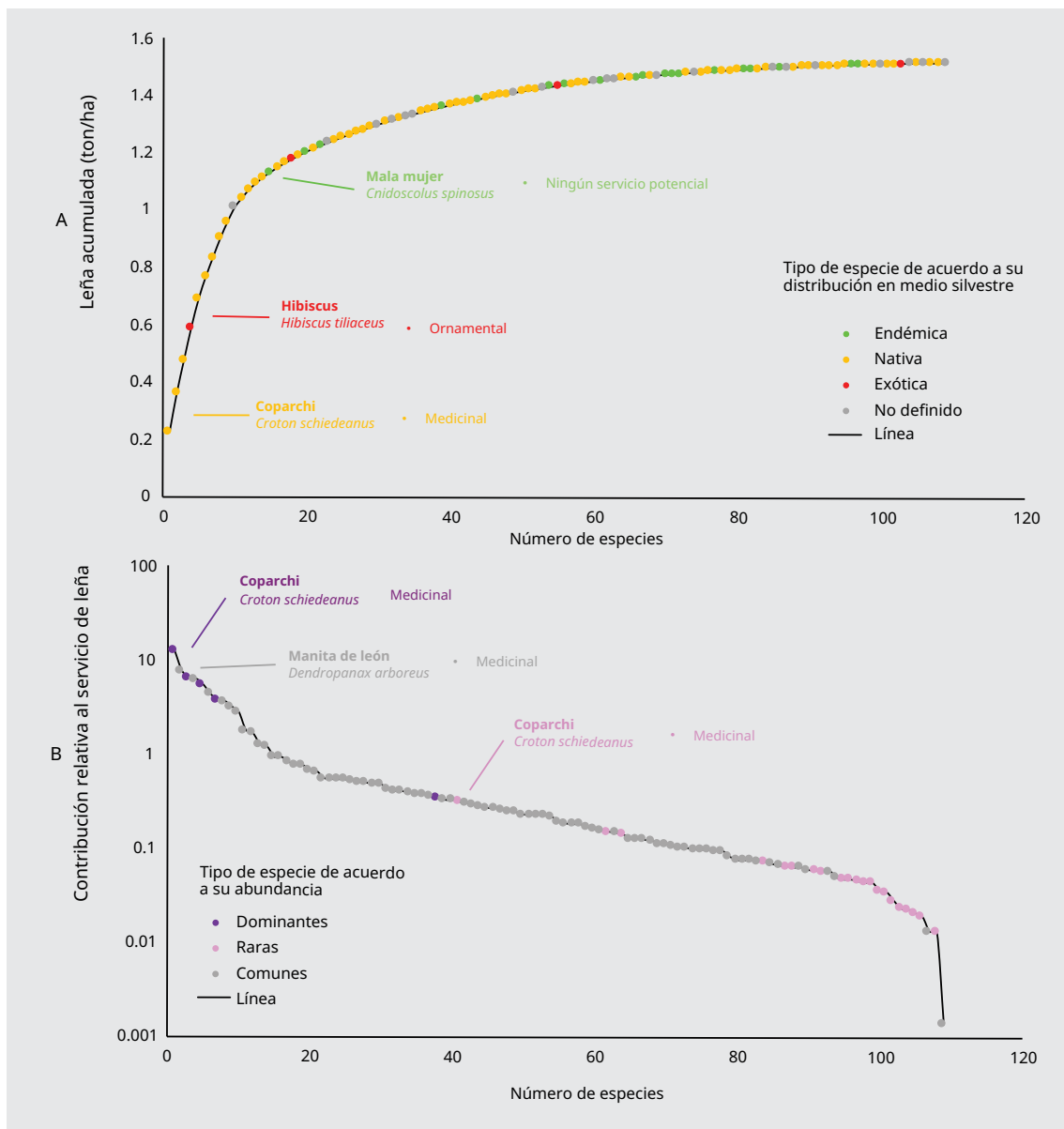


Fuente: elaboración propia.

Leña

De los 1,550 individuos presentes dentro de los sitios de Sierra de Vallejo, Nayarit, el 82% de las especies y morfoespecies (917 individuos, 59% del total) contribuyeron a la provisión de 1.79 ton/ha de leña (Fig. 3). Se identificaron 135 especies en la provisión del servicio, siendo siete especies nativas y una especie exótica (*H. tiliaceus*) las que contribuyeron con 50 % de la provisión total de servicio (Fig. 3a). Estas especies nativas fueron *C. schiedeanus*, *D. arboreus*, *A. revoluta*, *B. simaruba*, *E. salamensis*, *U. corallina* y *S. simplex*. Las 19 especies endémicas con 92 individuos contribuyen al 4% de la provisión de leña. Las 66 especies nativas con 646 individuos contribuyen con el 66% de la provisión del servicio. Las cuatro especies exóticas, *A. cherimola*, *C. limon*, *C. arabica* y *H. tiliaceus*, contribuyeron al 7% del servicio. Las cinco especies más abundantes y dominantes (272 individuos) contribuyeron con 28% de la provisión total de leña (Fig. 3b). Las 32 especies raras contribuyeron con el 3% de la provisión del servicio; mientras que 98 especies comunes (613 individuos) contribuyeron con el 68% del total del servicio.

Figura 3. Contribución de las especies leñosas a la provisión potencial de leña en los sitios de BTC y BTSC de Sierra de Vallejo, Nayarit.

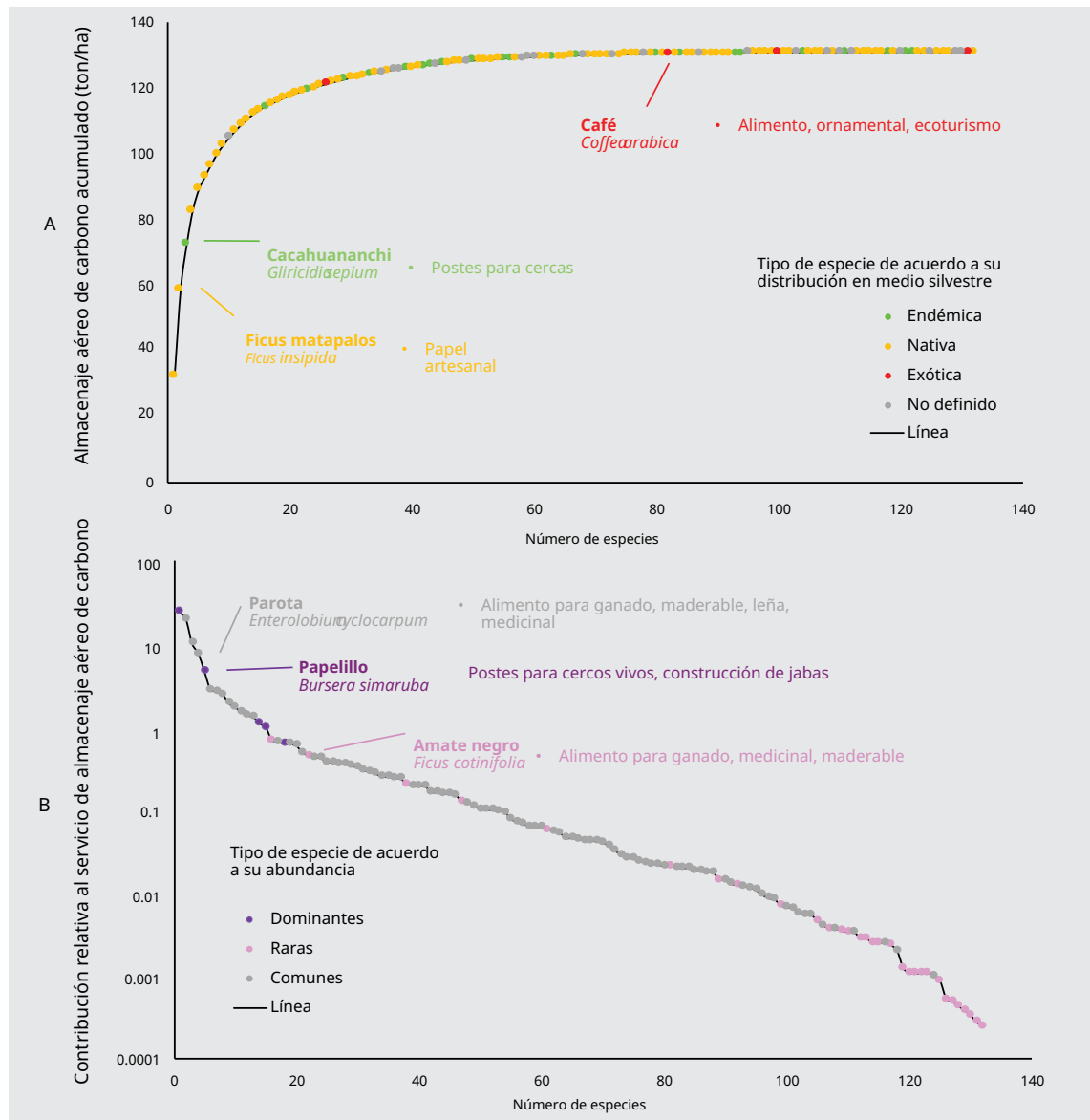


Fuente: elaboración propia.

Almacenaje aéreo de carbono

Los 1,550 individuos de 164 especies contribuyeron en la potencial provisión de almacenaje aéreo de carbono, 15 especies proveyeron el 80 % del total del servicio (Fig. 4). Las 23 especies endémicas a México (con 152 individuos) y las 83 especies nativas (con 1,138 individuos) contribuyeron con el 12 y 77% de la provisión total de servicio, respectivamente (Fig. 4a). Las cuatro especies exóticas, *A. cherimola*, *C. limon*, *C. arabica* y *H. tiliaceus*, contribuyeron al 0.4% del servicio (0.54 ton carbono aéreo/ha). Las cinco especies dominantes (462 individuos) contribuyeron con 30% de la provisión del almacenaje aéreo de carbono (Fig. 4b). Las 48 especies raras contribuyeron con el 7% de la provisión del servicio (10.6 ton carbono aéreo/ha); mientras que 111 especies comunes (1,041 individuos) contribuyeron con el 62% del total del servicio (88.1 ton carbono aéreo/ha).

Figura 4. Contribución de las especies leñosas a la provisión potencial de almacenaje aéreo de carbono en los sitios de BTC y BTSC de Sierra de Vallejo, Nayarit.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones y recomendaciones para la aplicación de resultados en instrumentos de política pública en México

El presente estudio realizado en los bosques tropicales caducifolios (BTC) y subcaducifolios (BTSC) de parte de la Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca, Nayarit, aporta conocimiento valioso sobre la contribución de la diversidad florística leñosa a la provisión de servicios ecosistémicos clave: madera, leña y almacenaje aéreo de carbono. A través del censo de 1,550 individuos leñosos pertenecientes a 132 especies y 32 morfoespecies, se evidenció la alta diversidad florística presente en esta región, su relevancia ecológica y su papel central en el mantenimiento de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano y la conservación ambiental.

Una de las principales conclusiones es que la provisión de los servicios ecosistémicos evaluados no recae exclusivamente en las especies dominantes, sino que involucra también una participación significativa de las especies comunes y raras. Particularmente, se demostró que, aunque unas pocas especies abundantes contribuyen en gran medida a la provisión de madera y almacenamiento de carbono, un amplio número de especies comunes y raras tiene un aporte acumulativo relevante.

En cuanto a la distribución de especies, destaca la importancia de las especies nativas, que contribuyen de manera preponderante a los servicios analizados, en contraste con el aporte marginal de las especies exóticas. Asimismo, las especies endémicas, si bien individualmente tienen una menor contribución a los servicios, colectivamente representan una fracción indispensable para la resiliencia del ecosistema y su capacidad de adaptación frente a perturbaciones ambientales. Esto subraya el valor de conservar y priorizar la flora nativa y endémica en las estrategias de manejo y restauración de los bosques tropicales mexicanos.

La heterogeneidad espacial observada en la provisión de servicios entre los sitios estudiados pone de manifiesto la influencia de factores locales, como el manejo, las condiciones de conservación y el grado de perturbación antrópica. Esta variabilidad debe ser considerada al diseñar acciones de conservación y restauración ecológica, ya que no todos los fragmentos de BTC y BTSC en Sierra de Vallejo ofrecen los mismos niveles de servicios ecosistémicos ni tienen la misma composición florística.

Por otro lado, los resultados ponen en evidencia que la pérdida de especies, en especial de las raras y endémicas, puede tener un efecto negativo significativo en la capacidad de los ecosistemas para sostener los servicios ecosistémicos evaluados. Esta conclusión refuerza la noción de que la conservación de la biodiversidad, más allá de su valor intrínseco, es un componente crucial para la estabilidad y funcionalidad de los ecosistemas tropicales en México.

El estudio también confirma la utilidad de enfoques integradores que consideran tanto la abundancia como la distribución geográfica de las especies para comprender la provisión de servicios ecosistémicos. Esta perspectiva permite identificar especies clave que deben ser prioritarias en las estrategias de manejo y conservación, no solo por su dominancia, sino también por su singularidad ecológica y su vulnerabilidad.

A partir de estos hallazgos, se desprenden diversas recomendaciones para la aplicación de los resultados en el diseño y fortalecimiento de instrumentos de política pública en México:

1. Fortalecer los esquemas de conservación basados en la diversidad funcional y no solo en la riqueza de especies.
Los programas de conservación y restauración de bosques tropicales, en particular los caducifolios y subcaducifolios, deben considerar la funcionalidad ecológica de las especies, priorizando aquellas que, por su abundancia o características singulares, tienen un impacto significativo en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales.
2. Incorporar la valoración de servicios ecosistémicos en la planificación territorial.
Es crucial que las decisiones de uso de suelo en regiones tropicales, como la Sierra de Vallejo, incluyan evaluaciones explícitas de los servicios ecosistémicos que se verían afectados por la pérdida de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo. Esto debe traducirse en instrumentos de ordenamiento ecológico territorial que delimiten claramente zonas de conservación, restauración y uso sostenible.
3. Promover programas de manejo forestal comunitario basados en la diversidad nativa.
El aprovechamiento sustentable de madera y leña debe centrarse en especies nativas, promoviendo prácticas de manejo adaptativo que aseguren la regeneración natural y la conservación de las especies endémicas y raras. Programas de apoyo técnico y financiero deben ser dirigidos a comunidades locales para fortalecer su capacidad de gestión sostenible.
4. Desarrollar políticas específicas para la restauración de BTC y BTSC.
Considerando que estos bosques se encuentran altamente amenazados y subrepresentados en estudios de servicios ecosistémicos, se requiere la formulación de programas de restauración ecológica que fomenten la recuperación de la diversidad florística original y el restablecimiento de los servicios ecosistémicos críticos.
5. Integrar la conservación de especies raras y endémicas en las estrategias nacionales de biodiversidad.
Las políticas nacionales deben reconocer explícitamente la importancia de las especies raras y endémicas en la provisión de servicios ecosistémicos, incentivando su protección a través de la creación y fortalecimiento de viveros de especies nativas, endémicas y raras para su uso en programas de restauración y recuperación de BTC y BTSC.
6. Implementar esquemas de pagos por servicios ambientales (PSA) diferenciados.
Los esquemas de PSA deberían considerar no solo la cantidad de servicios proporcionados, sino también la calidad y singularidad de los ecosistemas.

Los propietarios y gestores de áreas que albergan especies endémicas y raras en estos tipos de bosques y que contribuyen a una mayor diversidad funcional deberían recibir incentivos diferenciados.

7. Fomentar la investigación interdisciplinaria y el monitoreo a largo plazo. Es indispensable continuar con estudios interdisciplinarios que integren inventarios florísticos, análisis ecológicos y valoraciones biofísicas, económicas y sociales de los servicios ecosistémicos. Además, establecer redes de monitoreo a largo plazo permitirá evaluar la efectividad de las políticas implementadas y adaptarlas conforme a los cambios ecológicos y sociales.
8. Difundir el conocimiento generado a nivel local y regional.

La información sobre los servicios ecosistémicos provistos por los BTC y BTSC debe ser accesible para tomadores de decisiones, comunidades locales y el público en general de la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca. Campañas de educación ambiental y capacitación sobre el valor de la diversidad florística pueden fortalecer la apropiación social de los proyectos de conservación y manejo sostenible realizados actualmente en la región de Bahía de Banderas, Nayarit.

En suma, el presente estudio constituye una contribución significativa para el entendimiento de la relación entre la diversidad florística y la provisión de servicios ecosistémicos en los bosques tropicales de México. Los resultados subrayan la urgencia de integrar el valor de la biodiversidad en las estrategias de política pública, no solo para conservar especies, sino para asegurar el bienestar humano a largo plazo mediante el mantenimiento y restauración de funciones ecológicas esenciales. La adopción de estas recomendaciones permitirá avanzar hacia un modelo de gestión territorial más justo, resiliente y sostenible, acorde con los compromisos de México en materia de protección de la biodiversidad y respuesta ante el cambio climático.

Agradecimientos

Se agradece a Yosuki Reygoza, Tahamara Esquivel, Angelita Valencia, Elenita de Jesús, Omar Flores, Janeth Bolaños, Jazmin Solís, Armando Escobedo y Luis Verdin, por su ayuda en el trabajo de campo. A los ejidatarios, trabajadores y dueños de los sitios donde se realizaron los muestreos: Rogelio Becerra, Prisciliano, Abel Galván, Audel Cazares Mendoza, Juan José Villanueva, Secundino Reina González, Lorenzo, José Gómez García, Juan Manuel Pelayo y Misaël González, gracias por permitirnos el acceso y/o brindarnos información acerca de los sitios y las especies. JJST agradece la beca de estudios de posgrado (CVU: 855501) por parte del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas (BIMARENA), Universidad de Guadalajara. SQ agradece al Programa del Desarrollo del Personal Docente (PRODEP, Universidad de Guadalajara), por el financiamiento del proyecto NPTC-1355. Este trabajo forma parte del Cuerpo Académico Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (UDG-CA-1208).

Referencias

- Ángeles-García, A. Y., Suárez-Torres, J. J., y Carrillo-Reyes, P. (2021). Diversidad de plantas leñosas en el bosque tropical caducifolio y subcaducifolio de Sierra de Vallejo, Nayarit, México. *Botanical Sciences*, 100(1), 2-27. <https://doi.org/10.17129/botsci.2770>
- Arechiga, J. P. (2023). *Calidad de las riberas y servicios ecosistémicos del río Pitillal, Jalisco, México* (Tesis licenciatura). Universidad de Guadalajara, Jalisco.
- Balvanera, P., Kremen, C., y Martínez-Ramos, M. (2005). Applying community structure analysis to ecosystem function: examples from pollination and carbon storage. *Ecological Applications*, 15(1), 360-375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/03-5192>
- Balvanera, P., y Maass, M. (2010). Los servicios ecosistémicos que proveen las selvas secas. En G. Ceballos, L. Martínez, E. García, J. Espinoza, Bezaury-Creel, y R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México* (pp. 259-269). Fondo de la Cultura Económica.
- Banda-R, K., Delgado-Salinas, A., Dexter, K. G., Linares-Palomino, R., Oliveira-Filho, A., Prado, D., Pullan, M., Quintana, C., Riina, R., Rodríguez, M. G. M., Weintritt, J., Acevedo-Rodríguez, P., Adarve, J., Álvarez, E., Aranguren, B. A., Arteaga, J. C., Aymard, G., Castaño, A., Ceballos-Mago, N.,... Pennington, R. T. (2016). Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science*, 353(6306), 1383-1387. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>
- Bravo-Bolaños, O., Gómez-Flores, A., y Márquez-González, A. R. (2013). Composición florística del Ejido de Sayulita, Bahía de Banderas, Nayarit, México: Un análisis espacial. *Revista Bio Ciencias*, 2(3), 172-188. <https://doi.org/10.15741/revbio.02.03.11>
- Bravo-Bolaños, O., Sánchez-González, A., de Nova-Vázquez, J. A. y Pavón-Hernández (2016). Composición y estructura arbórea y arbustiva de la vegetación de la zona costera de Bahía de Banderas, Nayarit, México. *Botanical Sciences*, 94(3), 603-623. <https://doi.org/10.17129/botsci.461>
- Calvo-Rodríguez, S., Sánchez-Azofeifa, A. G., Duran, S. M., y Espíritu-Santo, M. M. (2017). Assessing ecosystem services in Neotropical dry forests: a systematic review. *Environmental Conservation*, 44(1), 34-43. <https://doi.org/10.1017/S0376892916000400>
- Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., y Bezaury-Creel, J. (2010). Áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico mexicano. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel, & R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas, y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico Mexicano* (pp. 387-392). Fondo de la Cultura Económica.

- Challenger A, Soberón J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En J. Soberón, G. Halffter, J. Llorente-Bousquets (Eds) Capital Natural de México, *Conocimiento actual de la Biodiversidad* (Vol. 1 pp. 87-108). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (20 de abril de 2025). Buscador de datos por Área Natural Protegida. <https://sig.conanp.gob.mx/>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2012). Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida, área de protección de recursos naturales, Sierra de Vallejo-Río Ameca, Jalisco y Nayarit, México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. [Archivo PDF]. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/estudio-previo-justificativo-de-conanp>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2023). Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca, en los estados de Jalisco y Nayarit. México. <https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-RB-SierraDeVallejo-RioAmeca.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (22 de abril de 2025). Portal de Geoinformación 2025. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/Dee>, L. E., Cowles, J., Isbell, F., Pau, S., Gaines, S. D., y Reich, P. B. (2019). When Do Ecosystem Services Depend on Rare Species? *Trends in Ecology & Evolution*, 34(8), 746-758. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.03.010>
- Ferry-Slik, J. W., Arroyo-Rodríguez, V., Aiba, S.-I., Alvarez-Loayza, P., Alves, L. F., Ashton, P., Balvanera, P., Bastian, M. L., Bellingham, P. J., Van den Berg, E., Bernacci, L., da Conceição, P. B., Blanc, L., Böhning-Gaese, K., Boeckx, P., Bongers, F., Boyle, B., Bradford, M., Brearley, F. Q.,... Venticinque, E. M. (2015). An estimate of the number of tropical tree species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7472-7477. <https://doi.org/10.1073/pnas.1423147112>
- Gómez-Flores, C. (2011). *Caracterización fitonómica-florística de la vegetación del ejido Sayulita, Nayarit* (Tesis licenciatura). Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit.
- Gómez-Mora, A. M., Anaya, J. A., y Álvarez-Dávila, E. (2005). Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la Cordillera Central de los Andes colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4(7), 413-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75004702>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (07 de enero de 2020). Geografía y Medio Ambiente. <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/>
- Laforceza, R., Carrus, G., Sanesi, G., y Davies, C. (2009). Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 8(2), 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003>
- Lott, E. J., y Atkinson, T. H. (2010). Diversidad florística y endemismo en las selvas secas de la vertiente Pacífico de México. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel, y R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pp. 63-76). Fondo de Cultura Económica.
- Maass, J. M., Balvanera, P., Castillo, A., Daily, G. C., Mooney, H. A., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V. J., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Ayala, R., y Sarukan, J. (2005). Ecosystem Services of Tropical Dry Forests: Insights from Long-term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of México. *Ecology and Society*, 10(1), 23. <https://www.jstor.org/stable/26267750>
- Martínez, L., y Ceballos, G. (2010). Sierra de Vallejo, Nayarit. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel, & R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (pp. 425-427). Fondo de Cultura Económica.
- Martínez-Harms, M. (2010). *Cuantificación y mapeo de servicios ecosistémicos en una cuenca mexicana: implicaciones para su conservación y manejo* [tesis de maestría. Universidad Autónoma de México] Repositorio Institucional UNAM <https://repositorio.unam.mx/contenidos>
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Mori, A. S., Lertzman, K. P., y Gustafsson, L. (2016). Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology*, 54(1), 12-27. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12669>
- Ordóñez-Díaz, J. A., Galicia-Naranjo, A., Venegas-Mancera, N. J., Hernández-Tejeda, T., Ordóñez-Díaz, M. d., y Dávalos-Sotelo, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques*, 21, 77-126. <https://doi.org/10.21829/myb.2015.210428>
- Portillo-Quintero, C. A., y Sánchez-Azofeifa, A. G. (2010). Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143(1), 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Quijas, S., Romero-Duque, L. P., Trillas, J. M., Conti, G., Kolb, M., Brignone, E., y Dellafiore, C. (2019). Linking biodiversity, ecosystem services, and beneficiaries of tropical dry forests of Latin America: Review and new perspectives. *Ecosystem Services*, 36, 100909. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100909>
- Quijas, S., y Balvanera, P. (2024). Linking Biodiversity to Nature's Contribution to People. *Encyclopedia of Biodiversity (Third Edition)*, 3, 357-376. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822562-2.00130-4>
- Ramírez-Delgadillo, R., y Cupul-Magaña, F. G. (1999). Contribución al conocimiento de la flora de la Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 6(2), 135-146. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401505>
- Rzedowski (1990). Vegetación potencial. Atlas Nacional de México: Biogeografía, Instituto de Geografía, UNAM.
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* (14), 3-21. <https://doi.org/10.21829/abm14.1991.611>
- Rzedowski, J. (1998). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. En T. P. Rammamoorthy, R. Bye, A. Lot, & J. Fa, *Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución* (pp. 129-145). Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Limusa, S. A. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Soto-Correa, J. C., Cambrón-Sandoval, Hugo, V., y Renaul-Rangel, R. (2019). Attributes of tree species and their capability of carbon capture in the municipality of Querétaro, México. *Madera y bosques*, 25(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511699>.
- Suárez-Torres, J. J. (2020). *Diversidad florística y servicios ecosistémicos del bosque tropical caducifolio y subcaducifolio de Sierra de Vallejo, Nayarit* (Tesis maestría). Universidad de Guadalajara. Jalisco.
- Tejero-Díez, J. D., Ledesma-Corral, J. C. y Torres-Díaz A. (2008). El palmar de *Orbignya guacuyule* al sur de Nayarit, México. *Polibotánica*, 26, 67-100. <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/763>
- Trejo, I., y Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in México. *Biological Conservation*, 94(2), 133-142. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00188-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00188-3)
- Tropicos (29 de abril de 2025). Missouri Botanical Garden. <https://tropicos.org>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559-902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

CAPÍTULO DOS

EFFECTOS DE LA PERTURBACIÓN ANTROPOGÉNICA SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BOSQUES DE GALERÍA DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA MARIPOSA MONARCA

Dra. Jazmin Adriana Argüello Velazquez¹

M. en C. José Pedro Ramírez García Armora²

Dra. Irina Llamas Torres³

Resumen

Se estimó el stock de carbono aéreo para valorar biofísicamente el servicio ecosistémico de regulación climática provisto por bosques de galería en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, México, y se analizó la influencia de la perturbación sobre dicho stock. Este es el primer estudio que aborda esta cuestión en el área. A partir de datos estructurales de la vegetación (diámetro a la altura del pecho, altura y cobertura de copa) recolectados en 30 cuadros de muestreo distribuidos a lo largo de un gradiente de perturbación, se calcularon la biomasa aérea y el carbono almacenado mediante ecuaciones alométricas específicas por especie. Se identificaron 15 especies arbóreas y arbustivas, cinco de ellas propias del bosque de galería, con *Alnus jorullensis* como especie dominante. La densidad fue de 2,280 individuos por hectárea, el área basal alcanzó los 95.5 m² ha⁻¹, la altura promedio fue de 12.6 m y el stock de carbono fue de 200 t ha⁻¹. Se encontraron diferencias significativas en la altura, el DAP y la cobertura de las especies entre sitios perturbados y no perturbados. El análisis discriminante indicó que la perturbación modifica significativamente la estructura del bosque, afectando en consecuencia el almacenamiento de carbono. Estrategias de manejo eficaces deben integrar estas interacciones para mejorar la capacidad de captura de carbono y conservar la salud del ecosistema.

Palabras clave: Bosque de galería, Alometría, Stock de carbono, Perturbación, Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Conservación.

Abstract

Aboveground carbon stock was estimated to conduct a biophysical valuation of the climate regulation ecosystem service provided by gallery forests in the buffer zone of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Mexico, and the influence of disturbance on this stock was analyzed. This is the first study to address this issue in the region. Using vegetation structural data

¹ Investigadora asociada Institut Michel Serres ENS-Lyon. Correo: jazmin.arguello@ens-lyon.fr

² Investigador independiente en botánica marina. Correo: armora9@gmail.com

³ Estancia Posdoctoral SECIHTI Instituto de Ecología, A.C., Correo: irinallamas@gmail.com

(diameter at breast height, height, and crown cover) collected from 30 sampling plots distributed along a disturbance gradient, aboveground biomass and stored carbon were calculated using species-specific allometric equations. A total of 15 tree and shrub species were recorded, five of which are characteristic of gallery forests, with *Alnus jorullensis* being the dominant species. The forest showed a density of 2,280 individuals per hectare, a basal area of 95.5 m² ha⁻¹, an average height of 12.6 m, and a carbon stock of 200 t ha⁻¹. Significant differences in height, DBH, and crown cover were found between disturbed and undisturbed sites. Discriminant analysis indicated that disturbance processes significantly alter forest structure, thereby affecting carbon storage. Effective management strategies must consider these interactions to enhance carbon capture capacity and maintain ecosystem health.

Keywords: Riparian Forest, Carbon stock, Perturbation. Monarch Butterfly Biosphere Reserve, Conservation.

Introducción

Los bosques de galería, también conocidos como bosques ribereños, son comunidades de vegetación leñosa (arbórea y arbustiva) que se desarrollan a lo largo de ríos, arroyos y lagos, en la interfaz entre los ecosistemas acuáticos y terrestres (Rzedowski, 1978; Lot & Novelo, 1990). Su estructura y funciones dependen del régimen hídrico, la topografía local y la frecuencia de perturbaciones naturales, lo que les confiere una alta heterogeneidad ecológica.

La vegetación ribereña responde de forma sensible a cambios en la calidad y cantidad del agua, lo que puede alterar su estructura y reducir su capacidad para brindar servicios ecosistémicos clave como la regulación del microclima, la retención de sedimentos, la purificación del agua y la captura de carbono (Naiman et al., 2005; Gregory et al., 1991). La pérdida de estas funciones afecta la salud de los ecosistemas acuáticos y el bienestar humano, especialmente en zonas donde el agua es un recurso estratégico.

Los bosques de galería están entre los ecosistemas más fragmentados y amenazados del mundo debido a su ubicación transicional y extensión limitada. Por ejemplo, en el sureste de EE. UU., se ha perdido entre 70% y 84% de su superficie original por causas antropogénicas (Trani, 2002).

En la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM), estos ecosistemas cumplen funciones críticas: forman parte del hábitat de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*), actúan como corredores biológicos en regiones montañosas del Eje Neovolcánico y contribuyen a la recarga y la calidad de acuíferos que abastecen al sistema Cutzamala, esencial para millones de personas en el centro de México (WWF, 2019).

No obstante, su estado de conservación es poco conocido debido a la falta de estudios específicos y al aumento de las presiones antrópicas. Este trabajo analiza cómo la perturbación influye en la composición florística, la estructura y el stock de carbono de estos bosques con el fin de generar evidencia que fundamente su conservación tanto por su valor ecológico como por los servicios que prestan.

Servicios ecosistémicos: son los beneficios que las personas obtienen directa o indirectamente de los ecosistemas. Muchos de ellos, al ser bienes públicos sin un valor de mercado explícito, suelen pasar desapercibidos en las decisiones económicas, lo que favorece su degradación y genera consecuencias severas tanto para las sociedades humanas como para los ecosistemas (TEEB, 2008).

El Millennium Ecosystem Assessment (2005) clasifica los servicios ecosistémicos en cuatro categorías principales:

- **Servicios de provisión**, que incluyen alimentos, agua dulce, madera, fibras, productos bioquímicos y recursos genéticos.
- **Servicios de regulación**, que abarcan la regulación del clima, la purificación del aire y del agua, la polinización, el control de enfermedades, la regulación hídrica y la protección contra eventos extremos.
- **Servicios culturales**, que son beneficios no materiales como la recreación, y los valores espirituales, estéticos o educativos.
- **Servicios de soporte**, que comprenden procesos ecológicos fundamentales como la formación de suelos, el ciclo de nutrientes, la fotosíntesis o la provisión de hábitat.

Los bosques ribereños son particularmente relevantes como proveedores de servicios de regulación, al actuar como sumideros de carbono, capturando y almacenando carbono tanto en la biomasa aérea como en los suelos. Esta función resulta clave en el contexto del cambio climático, ya que contribuye a estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero. También influye directamente en procesos como la retención de sedimentos, la absorción de nutrientes y la estabilización de las riberas.

La cuantificación del stock de carbono permite realizar una valoración biofísica de estos servicios, lo que constituye un primer paso esencial hacia su incorporación en políticas públicas, esquemas de conservación y mecanismos de financiamiento como REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques). Estos instrumentos se basan en estimaciones verificables del carbono almacenado, con el fin de canalizar incentivos económicos hacia prácticas de manejo forestal sostenible y conservación.

La estimación del carbono almacenado en estos ecosistemas no solo permite reconocer su valor como sumidero de carbono, sino que también proporciona evidencia científica para implementar acciones de restauración y conservación que mantengan su integridad ecológica y su funcionalidad ecosistémica a largo plazo.

Presiones antrópicas y grado de perturbación

Los bosques ribereños son ecosistemas particularmente vulnerables a las presiones antrópicas debido a su ubicación en zonas de transición entre cuerpos de agua y tierra firme. Estas áreas están altamente expuestas a actividades humanas como la agricultura, el pastoreo, la extracción de madera, la expansión urbana y el turismo no regulado (Gregory et al., 1991). Estas actividades provocan cambios en la cobertura vegetal, compactación del suelo, alteración del régimen hidrológico y pérdida de biodiversidad.

En el contexto de la RBMM, los bosques ribereños han sido afectados principalmente por la deforestación selectiva, la presión ganadera y el uso no planificado del suelo en zonas rurales. Un informe de la World Wildlife Fund (WWF) señala que entre 2019 y 2020, el área de bosques degradados en la zona núcleo de la reserva aumentó cuatro veces respecto al año anterior, siendo la tala ilegal la principal causa de degradación forestal.

Estudios recientes han demostrado que existe una relación directa entre el grado de perturbación y la disminución del stock de carbono, así como la pérdida de especies clave para el funcionamiento del ecosistema (Corrêa et al., 2015; de la Peña et al., 2019). Evaluar y clasificar esta perturbación resulta esencial para establecer estrategias diferenciadas de restauración y conservación.

Además, la integración del grado de perturbación con variables biofísicas como el carbono almacenado permite no solo identificar zonas prioritarias para la conservación, sino también evaluar la efectividad de medidas de manejo forestal sostenible. Estas evaluaciones pueden guiar la implementación de políticas públicas, así como la participación en mecanismos financieros basados en resultados, como los programas de pagos por servicios ambientales (PSA; CONAFOR, 2020).

Contexto geográfico y de conservación

El presente estudio se llevó a cabo en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM), en respuesta a una solicitud del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), con el objetivo de evaluar el estado actual del bosque de galería y proponer estrategias para su restauración. Esta región forma parte de la subcuenca del sistema Cutzamala, cuya integridad ecológica está estrechamente vinculada con el abasto hídrico de la Zona Metropolitana del Valle de México. Por ello, la restauración y conservación de los bosques ribereños en esta área representa una medida clave para mejorar la seguridad hídrica y ecológica del territorio.

La RBMM es un área natural protegida de importancia internacional, localizada en la región centro-oriente del Eje Neovolcánico Transversal, entre los estados de Michoacán y el Estado de México, en el centro de México. Fue creada en 2000 y reconocida como sitio Patrimonio Mundial Natural por la UNESCO en 2008, debido a que alberga los principales sitios de hibernación de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) en su migración anual desde Canadá (UNESCO, 2008). La RBMM abarca una superficie de 56,259 hectáreas, de las cuales 13,551 corresponden a la zona núcleo, donde se restringen severamente las actividades humanas, y 42,707 forman parte de la zona de amortiguamiento, donde se permiten usos productivos regulados, como la forestería comunitaria y la agricultura de bajo impacto (CONANP, 2023).

Aunque los esfuerzos de conservación han estado centrados principalmente en la protección del hábitat de hibernación de la mariposa monarca (Hernández-Moreno et al., 2020), los bosques ribereños o de galería presentes en la zona representan un componente ecológico crucial del sistema de conservación. Estos se encuentran principalmente en la zona de amortiguamiento y zonas circundantes, a menos de 3000 m de altura, bordean arroyos y manantiales de montaña, y actúan como corredores biológicos, facilitando el movimiento de especies y el flujo de nutrientes y agua entre distintos tipos de hábitats. Además, ofrecen servicios ecosistémicos esenciales como la regulación hídrica, la retención de suelo y el almacenamiento de carbono (Naiman et al., 2005). Sin embargo, están frecuentemente sujetos a perturbaciones por actividades humanas debido a su cercanía a caminos rurales, bordes agrícolas y asentamientos (Martínez-Yrizar et al., 2010; Rojas-Bribiesca et al., 2022), lo que ha generado una pérdida significativa de cobertura vegetal nativa y una fragmentación creciente que compromete su resiliencia ecológica y capacidad funcional.

El reconocimiento del papel de los bosques ribereños como aliados en la conservación integral del territorio es fundamental para ampliar las estrategias de manejo en la RBMM, promoviendo la conectividad ecológica y la resiliencia al cambio climático.

Justificación del estudio

La ausencia de estimaciones directas del stock de carbono en la biomasa aérea de los bosques ribereños de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM) limita tanto el conocimiento científico como la integración de estos ecosistemas en políticas públicas, programas de manejo y mecanismos de financiamiento basados en servicios ecosistémicos, incluidos los mercados de carbono. La dependencia exclusiva de datos indirectos o generalizaciones puede introducir errores significativos en la estimación del carbono almacenado (Chave et al., 2014), reduciendo su utilidad para programas de conservación y esquemas de compensación como REDD+ (Angelsen et al., 2012).

Los resultados de este estudio contribuirán a incorporar la dimensión de carbono en instrumentos de planificación territorial, como los programas de manejo y ordenamiento ecológico, favoreciendo estrategias de conservación y restauración de sitios prioritarios (CONANP, 2020). Asimismo, permitirán realizar un diagnóstico biofísico robusto del stock de carbono, con implicaciones directas en la conservación de la funcionalidad ecológica, la mitigación del cambio climático y la identificación de áreas clave para la restauración ecológica.

Generar evidencia técnica y científica a escala local es esencial para fundamentar decisiones de conservación y restauración, así como para habilitar la participación de la RBMM en mecanismos de financiamiento como REDD+, los pagos por servicios ambientales, otros esquemas emergentes de valorización de servicios ecosistémicos (FAO, 2021) y mercados de carbono.

El almacenamiento de carbono en los bosques de galería está influenciado por factores como el uso del suelo y las perturbaciones (Corrêa et al., 2015). Se requieren más estudios para lograr un manejo y estrategias de conservación eficientes enfocadas en mejorar este servicio ecosistémico.

Objetivo general: Explorar el efecto de la perturbación en la estructura de la vegetación ribereña y en el stock de carbono.

Pregunta ¿La perturbación tiene un impacto sobre la estructura de la comunidad y por lo tanto en el stock de carbono de los bosques ribereños?

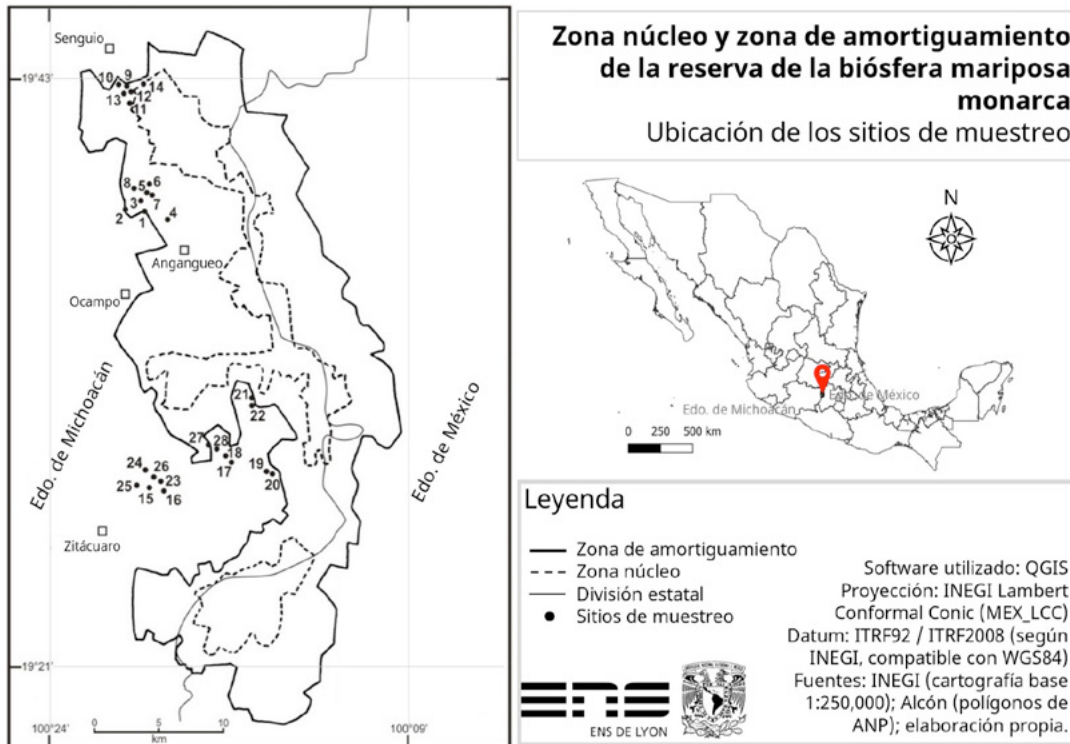
Hipótesis principal: La perturbación disminuye la cantidad de carbono almacenado en los árboles de los bosques ribereños o los sitios más perturbados tienen menor stock de carbono que los sitios poco o nada perturbados.

METODOLOGÍA

Área de estudio.

Los sitios de estudio se ubican en la zona de amortiguamiento y áreas colindantes de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM), entre los 2400 y los 3600 metros de altitud. En cuatro municipios que la conforman, Angangueo, Ocampo, Senguio y Zitácuaro, pertenecientes al estado de Michoacán (Figura 1). Esta zona ha sido objeto de sobreexplotación forestal como lo muestran los estudios de Brower et al. (2002), Brower et al. (2012) y la WWF (2004) en la región.

Figura 1. Puntos de los sitios de estudio.



Fuente: elaboración propia con base en CONANP, 2025.

Con base en el conocimiento y apoyo brindado por Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), World Wildlife Fund (WWF) y la Asociación Civil Halcón A. C., que trabajan en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, se visitaron en los años 2011 y 2012 en total 69 sitios en los municipios de Angangueo, Ocampo, Senguio y Zitácuaro de los cuales se seleccionaron sólo 13 por presentar un caudal de agua permanente durante el año y especies características de la vegetación ribereña o bosques de galería. (Tabla 1).

Tabla 1. Municipios y sitios de estudio en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca.

Sitio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud m.s.n.m.	Pendiente	Grado de Perturbación	Geoforma	Ancho de corriente (m)
Angangueo							
Arroyito	19°37'56.6"	100°19'38.1"	2375	13.5	perturbado-muy perturbado	valle	5-5.25
Arroyo Seco	19°38'0.2"	100°20'18.4"	2339	5	muy perturbado	valle	11.5
Nazaret	19°38'31.1"	100°19'40.9"	2446-2449	12.5-18	poco perturbado-perturbado	valle	4.6-5.8
Río Limpio	19°37'45.9"	100°18'44.5"	2456	6	muy perturbado	valle	1

Nazaret	19°38'40.8"	100°19'41.6"	2451	6.5	poco perturbado	ladera	0.6
Nazaret	19°38'41.1"	100°19'41.6"	2455	15	conservado	ladera	0.5
Nazaret	19°38'35.9"	100°19'41.9"	2499	27	poco perturbado	ladera	1.3
Nazaret	19°38'34.0"	100°19'41.8"	2480	11.5	conservado	ladera	2.4
Senguio							
Filtros	19°42'48.1"	100°20'17.8"	2336	10.5	conservado	valle	4
Filtros	19°42'52.5"	100°20'20"	2396	27	poco perturbado	ladera	2.9
Río Agua Caliente	19°42'33.1"	100°19'53.4"	2542	17	conservado	ladera	2
Río Zapatero	19°42'35.5"	100°19'58.1"	2547	25.5	conservado	ladera	1
Río Zapatero	19°42'43.7"	100°20'12.5"	2476	15.5	poco perturbado	valle	0.8
Río Zapatero	19°42'44.9"	100°20'12.5"	2451	14	conservado	ladera	1
Zitácuaro							
Paraje La Cascada	19°27'54.8"	100°19'11.7"	2021	22	conservado	valle	9
Paraje La Cascada	19°27'53.3"	100°19'13.8"	2024	20	conservado	valle	6.6
Río Guadalupe	19°28'30.9"	100°16'22.8"	2233	29.5	conservado	terrazza inundación	4
Río Guadalupe	19°28'34.3"	100°16'26.8"	2250	17.5	conservado	valle	4
Macho de agua	19°28'17.4"	100°14'37.4"	2411	19	poco perturbado	valle	
Macho de agua	19°28'15.1"	100°14'33.0"	2417	9	perturbado	ladera, caja	15
Río Shorejé	19°31'07.1"	100°15'23.8"	1963	11.5	conservado	ladera	1.5
Río Shorejé	19°30'53.0"	100°15'24.9"	2563	21	conservado	ladera	2
Río San Juan Viejo	19°28'01.5"	100°19'03.6"	2187	22	poco perturbado	valles	7
Río San Juan Viejo	19°27'59.5"	100°19'04.7"	2130	19	poco perturbado	valle	6.6
Río San Juan Viejo	19°28'01.1"	100°19'03.4"	2133	22	poco perturbado	ladera	15
Río San Juan Viejo	19°28'02.1"	100°19'01.8"	2120	34	perturbado	ladera	2.3
Río Puentesuelas	19°28'54.3"	100°16'50.3"	2210	33.5	poco perturbado	valle	2
Río Puentesuelas	19°28'56.7"	100°16'50.1"	2224	19.5	poco perturbado	valle	2

Diseño de muestreo

Para analizar la estructura de la comunidad, se delimitaron sobre la ribera 30 cuadros de muestreo (25 m² cada uno), el tamaño y forma de las unidades de muestreo fueron establecidas de acuerdo con su accesibilidad. Se hizo una inspección previa de las comunidades, algunos cauces tenían entre 1.5 y 3 metros de ancho, pero otros podían llegar a los 18 metros de ancho, y las pendientes de las riberas variaron de 4 hasta 34 grados (Tabla 1).

Los cuadros de estudio se clasificaron según su grado de perturbación mediante una escala ordinal adaptada de Rawat (1997), que incluyó cuatro categorías: *conservado (C)*, *poco perturbado (PP)*, *perturbado (P)* y *muy perturbado (MP)*, asignándoseles los valores numéricos 0, 1, 2 y 3, respectivamente. La evaluación se basó en la presencia de indicadores como la presencia de tocones, el pisoteo y las heces fecales de ganado, la construcción de represas, la instalación de mangueras para extracción de agua (destinada a uso doméstico o al riego de cultivos como aguacate y otros frutales), así como la acumulación de basura derivada de actividades ecoturísticas. Un cuadro se consideró *conservado (0)* cuando no presentaba alteraciones visibles (ausencia de tocones, mangueras, residuos, huellas de ganado o modificaciones en el cauce del agua). La categoría *poco perturbado (1)* correspondió a sitios con una o dos características de disturbio (ej. tocones y mangueras), mientras que *perturbado (2)* se asignó a las áreas con tres o cuatro alteraciones y *muy perturbado (3)* presentaba todas las alteraciones mencionadas.

Dentro de los cuadros se identificaron las principales especies arbóreas y arbustivas, y se midieron el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura y el diámetro mayor y menor de la copa del árbol para obtener la cobertura vegetal a todos los individuos con DAP mayor o igual a 2.5 cm (DAP ≥ 2.5 cm) (Ramos et al., 2004; Moreno-Cassasola y Warner, 2009).

A partir de los datos obtenidos se calculó la cobertura como una elipse, tomando en el radio mayor y menor de la copa del árbol.

Se calculó también el valor de importancia relativa (VIR) de las especies encontradas, este proporciona una idea de cuáles son las especies más importantes en la comunidad debido a su abundancia o al espacio que ocupan. Este se calculó utilizando el VIR de Curits y McIntosh (1951), sumando la dominancia relativa, la densidad relativa y la frecuencia relativa. El área basal se calculó como el área de la sección transversal del tronco a la altura del pecho (1.3 m), utilizando la fórmula para la circunferencia. La densidad se consideró como el número de árboles por unidad de área y se expresó en términos absolutos extrapolando a una hectárea el número de árboles del bosque de galería dentro de las parcelas. La frecuencia se considera como el porcentaje de árboles en que aparece la especie con respecto al total de unidades utilizadas. La dominancia es el área basal de una especie dividida por el área basal de todas las especies.

Cálculo de biomasa y de carbono

Para estimar la cantidad de carbono almacenado por árbol, se aplicaron ecuaciones alométricas específicas por especie, siempre que estuvieron disponibles en la literatura. Estas fórmulas relacionan el diámetro a la altura del pecho (DAP, en cm) con la biomasa o el carbono, y en el caso de *Arbutus tessellata* incluye términos cuadráticos ajustados a esa especie. Todas las estimaciones se convirtieron a toneladas de carbono (tC), asumiendo que la biomasa seca contiene en promedio un 50% de carbono (IPCC, 2006).

Las ecuaciones aplicadas fueron las siguientes:

Para *Alnus jorullensis* se estimó directamente el contenido de carbono (C) en kilogramos según los coeficientes de Carrillo Anzúres et al. (2014):
$$C \text{ (kg)} = 0.009 \times \text{DAP}^{2.7522}$$

Para *Pinus montezumae* y otras especies del género *Pinus* se estimó directamente el carbono (C) en kilogramos según los coeficientes de Carrillo Anzúres et al. (2014):
$$C \text{ (kg)} = 0.0065 \times \text{DAP}^{3.0484}$$

Para *Arbutus tessellata* se estimó la biomasa aérea (BA) en kilogramos utilizando la fórmula cuadrática de *Arbutus xalapensis*, posteriormente se dividió entre dos para obtener el carbono (Aguilar et al., 2016 en Silva-García, 2020):
$$BA \text{ (kg)} = 0.3764 \times (\text{DAP}^{2-2.3146}) \times (\text{DAP}^{-1.9106})$$

Para las especies de *Quercus* se estimó la biomasa aérea (BA) según Navar, 2009 y luego se transformó a carbono:
$$BA \text{ (kg)} = 0.0890 \times \text{DAP}^{2.5226}$$

Para especies sin fórmula específica, se utilizó el modelo alométrico genérico de Cano (1994), que estima la biomasa aérea (BA) en gramos como función del área basal calculada a partir del diámetro.
$$BA \text{ (g)} = (\text{DAP}^2/4)0.968 \times 3.1416 \times 258.487$$

Análisis estadístico

Las variables estructurales del bosque, el contenido de carbono y las características del sitio fueron analizadas mediante métodos de estadística no paramétrica, debido a que los datos no tenían una distribución normal. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa Statistica versión 7.0 (StatSoft, 2004) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Primero, para evaluar las diferencias significativas entre los sitios clasificados con diferentes grados de perturbación (conservados, poco perturbados, perturbados y muy perturbados), se hizo un análisis de varianza por rangos y se aplicó la prueba de la mediana de Kruskal-Wallis (H). Posteriormente, se realizaron comparaciones múltiples utilizando la prueba de rangos de medias para muestras independientes (z').

Segundo, se examinó la relación entre las características de la vegetación (altura, DAP, cobertura de copa) y del sitio (altitud, pendiente) con el grado de perturbación mediante un análisis discriminante por pasos, para identificar qué variables contribuyen más significativamente a la diferenciación de los sitios según su grado de perturbación y poder descartar las variables de las características del sitio.

Tercero, se analizaron las diferencias en el carbono almacenado en la biomasa aérea entre especies utilizando una prueba de Kruskal-Wallis.

Finalmente, para evaluar las diferencias entre el grado de perturbación antropogénica y el carbono almacenado se empleó nuevamente la prueba de Kruskal-Wallis.

RESULTADOS

Características de los sitios de estudio

Los sitios de muestreo estudiados en el Municipio de Angangueo se localizaron en una cota altitudinal entre 2,338 y 2,499 m. Sitios como Arroyito son la confluencia entre dos ríos, La Reyna y Los Tanques clasificado como perturbado, con pendientes de ribera en promedio entre 13.5° y 16.5°, con un ancho de caudal estable de entre 5 y 5.25 m, y con la presencia de árboles característicos de ribera como *Alnus jorullensis* (Aile) y *Acer negundo* (Cuadro 1). En el sitio Nazaret (Jesús de Nazaret) los cuadros levantados fueron clasificados desde conservados hasta muy perturbados, con pendientes muy variables de 6.5° a 27°, incluso fue un arroyo con un ancho de caudal también muy variable de 0.5 hasta 5.8 m, y en la ribera dominó *Alnus jorullensis*, pero se observaron especies propias del bosque de pino como *Arbutus tessellata* y *Pinus pseudoestrobis*. Otros dos sitios estudiados de este Municipio fueron en el Río Limpio con un ancho de caudal de 1 m y Arroyo Seco con un ancho de caudal de hasta 11.5 m, ambos clasificados como muy perturbados. En el municipio de Senguio los sitios estudiados se ubicaron en una cota altitudinal de 2,336 a 2,547 m.

Los sitios del área denominada Los Filtros se caracterizaron por encontrarse en un rango de poco perturbado a conservado con pendientes de 10.5° a 27°, con un ancho de caudal entre 2.9 y 4 m, y con la presencia de especies como *A. jorullensis*, *Cornus disciflora* y *Fraxinus uhdei*. Los otros dos sitios estudiados de este Municipio fueron ubicados en el Río Agua Caliente y el Río Zapatero, con pendientes de 14° a 25.5° con anchos de caudal entre 0.8 y 2 m, también fueron caracterizados como poco perturbados a conservados y, dominados por *A. jorullensis* y *F. uhdei* (Cuadro 1).

En el Municipio de Zitácuaro se estudiaron seis ríos, con sitios de muestreo ubicados entre ,963 a 2,563 m, con anchos de caudal entre 1.5 y 15 m. Los cuadros levantados en el sitio Río San Juan Viejo estuvieron en una cota altitudinal de 2,120 a 2,187 m, río caracterizado principalmente como poco perturbado con pendientes de ribera entre 19° y 34°, y un ancho de caudal de los 2.3 a los 15 m, con árboles de *A. jorullensis* y *Carpinus carolineana*. Otro sitio clasificado como poco perturbado fue el del Río Puentesuelas entre los 2210 y los 2224 m, con pendientes muy pronunciadas en su ribera de 19.5° a 33.5° y un ancho de caudal estable y pequeño de 2 m, y la presencia de *A. jorullensis* y *F. uhdei*. El sitio denominado Paraje La Cascada se caracterizó por tener una gran caída de agua lo que permite al río tener entre 6.6 a 9 m de ancho en el caudal, y sus riberas ser clasificadas como conservadas en parte por tener pendientes elevadas de entre 20° a 22° que dificultan su acceso. En este sitio observamos una variedad de árboles siendo los más representativos *A. jorullensis*, *C. carolineana* y *Oreopanax jalapensis*. Los sitios en el Río Guadalupe ubicado entre 2,233 y 2,250 m de altitud, con pendientes de entre 17.5° a 29.5°, fueron clasificados como conservados y se observó un ancho de caudal constante de 4 m, dominado por *A. jorullensis* (Cuadro 1). El sitio Macho de Agua, en la localidad Crescencio Morales, se ubicó entre 2,411 y 2,417 m de altitud, tuvo pendientes en la ribera de 9° a 19° y fue clasificado como de poco perturbado a perturbado con una anchura de caudal de 15 m, estando la ribera dominada por *A. jorullensis* (Cuadro 1). Finalmente, el Río Shorejé o Paraje Ortija, en la comunidad Francisco Serrato, con pendientes de 11.5° a 21°, a una altitud de entre 1963 y 2563 m, fue clasificado como conservado, con una anchura de caudal de 1.5 a 2 m, y en sus riberas se observaron diferentes especies de árboles como *A. jorullensis* y *Buddleja cordata* (Cuadro 1).

Descripción de la estructura de la comunidad ribereña.

Se observaron 15 especies de vegetación leñosa creciendo en los bordes de arroyos y ríos, 12 árboles y 3 arbustos, que comprenden 15 géneros contenidos en 13 familias, de las cuales 5 especies son consideradas como exclusivas de ambientes ribereños (Lot, 2015; Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Estructura de las especies arbóreas.

Especie	Cobertura m ²	DAP cm	Altura m	Área basal m ² ha	Dom. Rel.	Dens. Rel.	Frec. Rel.	VI
Acer negundo* Sapindaceae	5.3	7.0	5.2	0.14	0.14	1.17	6.67	7.98
Alnus jorullensis* Betulaceae	4563.0	18.6	13.3	85.3	89.4	77.8	100	267.2
Arbutus tessellata Ericaulaceae	8.7	14	7.0	0.21	0.21	0.58	6.77	7.5
Buddleia cordata Escrofulariaceae	129.3	32.7	15.1	3.4	3.59	1.75	6.67	12.0
Carpinus caroliniana* Betulaceae	53.6	22.4	24.0	2.5	2.63	1.75	6.67	11.0
Crataegus mexicana Rosaceae	30.1	17.0	9.2	0.30	0.32	0.58	6.67	7.6
Fraxinus uhdei* Oleaceae	31.5	9.3	7.6	0.30	0.31	1.75	6.67	8.7
Pinus pseudostrobus Pinaceae	221.4	13.0	14.9	1.11	1.16	2.92	6.67	10.8
Prunus serótina Rosaceae	41.8	23.0	35.0	0.55	0.58	0.58	6.67	7.8
Quercus sp. Fagaceae	23.7	8.0	7.2	0.28	0.29	1.75	6.67	8.7
Salix bonpladiana* Salicaceae	38.2	12.5	6.7	0.35	0.36	1.17	6.67	8.2
Sambucus nigra Adoxaceae	34.1	16.0	5.12	0.27	0.28	0.58	6.67	7.5

Fuente: elaboración propia.

*Vegetación exclusiva de ambientes ribereños.

Tabla 3. Estructura de las especies arbustivas.

Especie	Cobertura m ²	DAP cm	Altura m	Área basal m ² ha	Dom. Rel.	Dens. Rel.	Frec. Rel.	VIR
Cestrum thyrsoides Solanaceae	101.0	8.8	6.5	0.22	0.23	1.17	6.67	8.1
Cornus disciflora Cornaceae	20.4	5.5	5.6	0.08	0.08	1.17	6.67	7.9
Oreopanax xalapensis Araliaceae	73.1	4.3	4.1	0.14	0.15	4.09	6.67	10.9

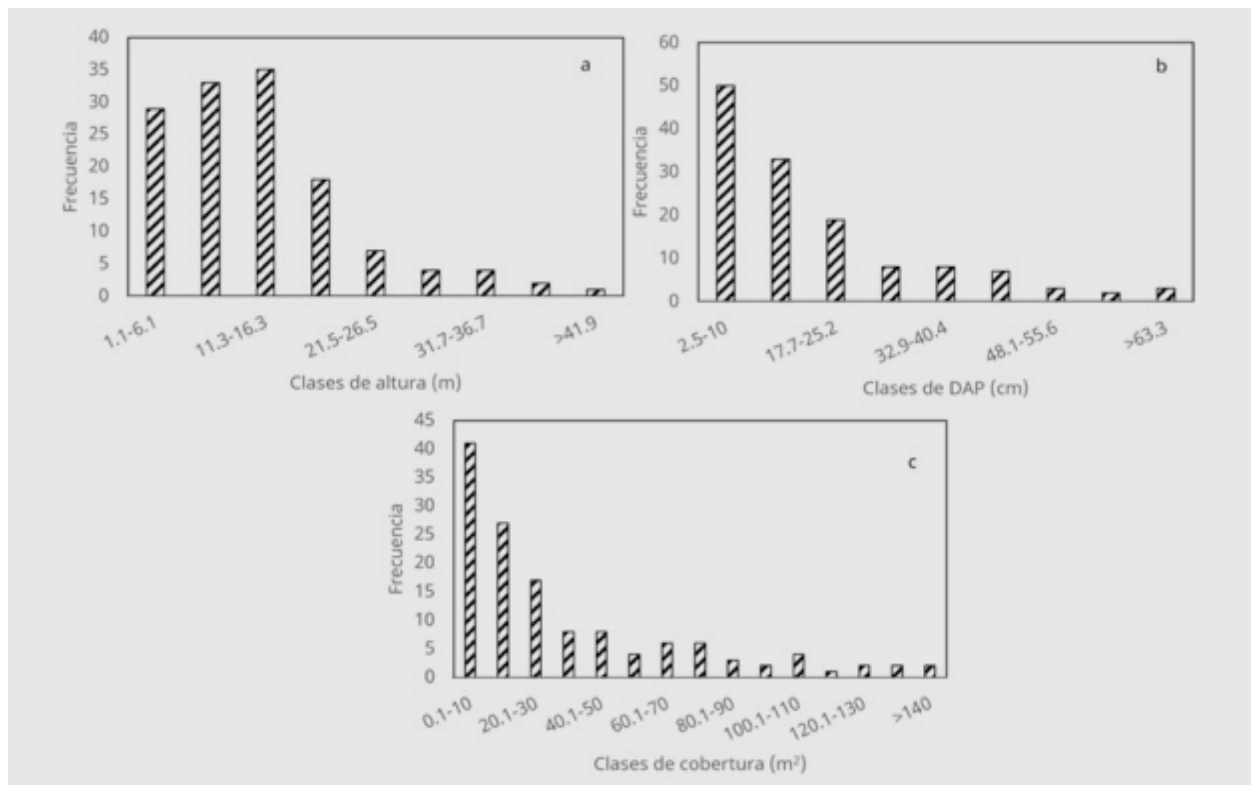
Fuente: elaboración propia.

Se observó una densidad de 2,280 ind ha⁻¹, área basal de 95.5 m² ha⁻¹ y altura promedio de 12.6 m. El stock de carbono de la biomasa aérea fue de 200.52 t ha⁻¹.

A. jorullensis fue la especie con la mayor cobertura 4,563 m², así como la mayor dominancia, densidad y frecuencia relativa, por lo tanto, obtuvo el mayor valor de importancia (Tabla 2). Esta especie alcanzó los 44 m de altura, con una mediana de 11.4 m y se observó un DAP de hasta 95 cm, con una mediana de 13 cm (Figura 2). Se encontraron árboles adultos de esta especie en laderas montañosas muy inclinadas en condiciones relativamente secas, sin embargo, los brinsales o árboles jóvenes prosperan en las riberas de los ríos y en pendientes húmedas donde llegan a formar bosques de galería. Otras especies con amplias coberturas fueron *Pinus monte-*

zumae, *P. pseudoestrobis* y *B. cordata*, esta última especie con el mayor valor promedio de DAP y con el segundo valor más alto de importancia. La especie arbórea con mayor altura fue *Prunus serotina* seguida de *C. carolineana*, aunque poco frecuentes estas especies son típicas de los bosques de galería, y se encontraron asociadas con *A. jorullensis*. *Acer negundo* y *F. uhdei* tienen una amplia distribución en los bosques templados de pino-encino y mesófilos de montaña y pueden crecer en laderas, cañadas y a orillas de corrientes de agua. Como especies primordiales de los bosques de la RBMM se encuentran las del género *Quercus*, ocupando el sexto lugar en valor de importancia en las riberas de los arroyos y ríos estudiados; las poblaciones de diferentes especies de *Quercus* tuvieron bajos DAP y baja altura en los sitios estudiados aunque se observaron individuos con mayor diámetro y más altos conforme se alejaban del cauce de los ríos, además en el caso de *P. pseudoestrobis* se observó el segundo valor más alto de cobertura (Tabla 2). Observamos que es probable que las especies del bosque de galería estén en competencia por luz con las especies características del bosque de pino-encino que también crecen en las riberas. *Carpinus carolineana*, *F. uhdei* y *Salix paradoxa* se observaron de forma regular formando parte de los bosques de galería de los ríos y arroyos circundantes, con significativas coberturas entre 31.5 y 53.6 m² ha. Otras especies observadas en los cuadros de muestreo fueron arbustivas como *Cestrum thyrsoides*, *Cornus disciflora* y *Oreopanax xalapensis* que tuvieron bajos valores de importancia de entre 7.5 a 10.9 (Tabla 3).

Figura 2. Frecuencia del número de árboles por clases de a) altura, b) DAP y c) cobertura de la especie dominante *Alnus jorullensis*.



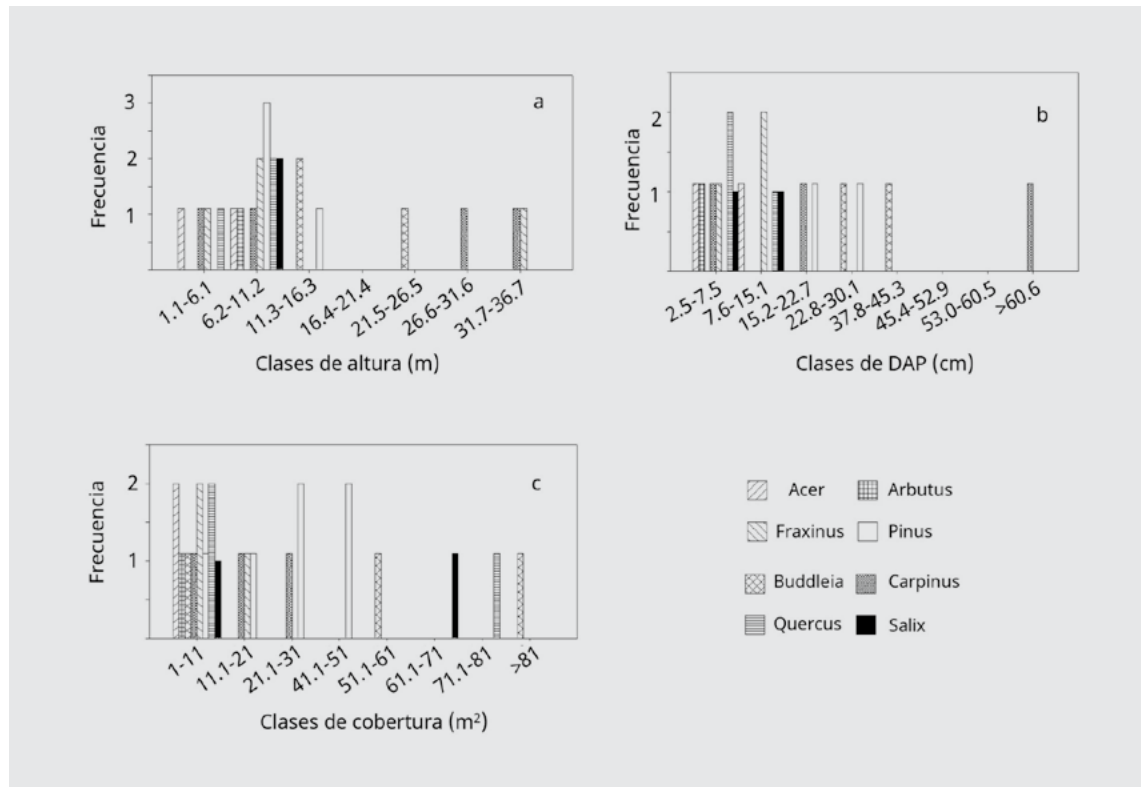
Fuente: elaboración propia.

Alnus jorullensis es la especie dominante en los bosques de galería estudiados, y se observa que en la distribución de clases de altura la mayor frecuencia está en la clase de 11.3-16.3 m (Figura 2a), y en cuanto al DAP la mayor frecuencia se observa en la clase 7.6-15.1 cm (Figura 2b). Esto representa árboles delgados y altos con un área basal de 34 a más de 284 veces mayor que alguna de las otras especies asociadas ribereñas (Tabla 2). Además, la cobertura del dosel de *A. jorullensis* representa más del 88% de la cobertura de las otras especies ribereñas y especies asociadas estudiadas con una mediana de 19.2 m², siendo la clase dominante de coberturas de 1 a 11 m² (Figura 2c).

Las especies arbóreas asociadas a *A. jorullensis*, aunque con baja frecuencia en general, tiene un papel importante en la estructura de la comunidad ribereña, en el caso de la altura, la clase con mayor frecuencia de

individuos es la de 6.2 a 11.2 m, con especies preponderantes como las de los géneros *Pinus* y *Quercus*, así como *F. uhdei*, y *S. paradoxa* (Figura 3a). En el caso del DAP la especie superior en la clase 2.5 a 7.5 cm fue *Quercus* sp., mientras que *F. uhdei* lo fue en la clase 7.6 a 15.1 cm y *Buddleia cordata* en la clase 30.1 a 37.7 cm (Figura 3b). Por otro lado, la especie *C. carolineana* se observó en varias de las clases de altura y de DAP incluso con un valor mayor a 36.7 m de altura y un DAP mayor a 60.6 cm. Con respecto a las coberturas resaltan especies como *A. negundo*, *F. uhdei* en las clases 1-11 m² y algunas especies de *Pinus* en las clases 21.1-31 m² y 41.1 a 51 m² (Figura 3c).

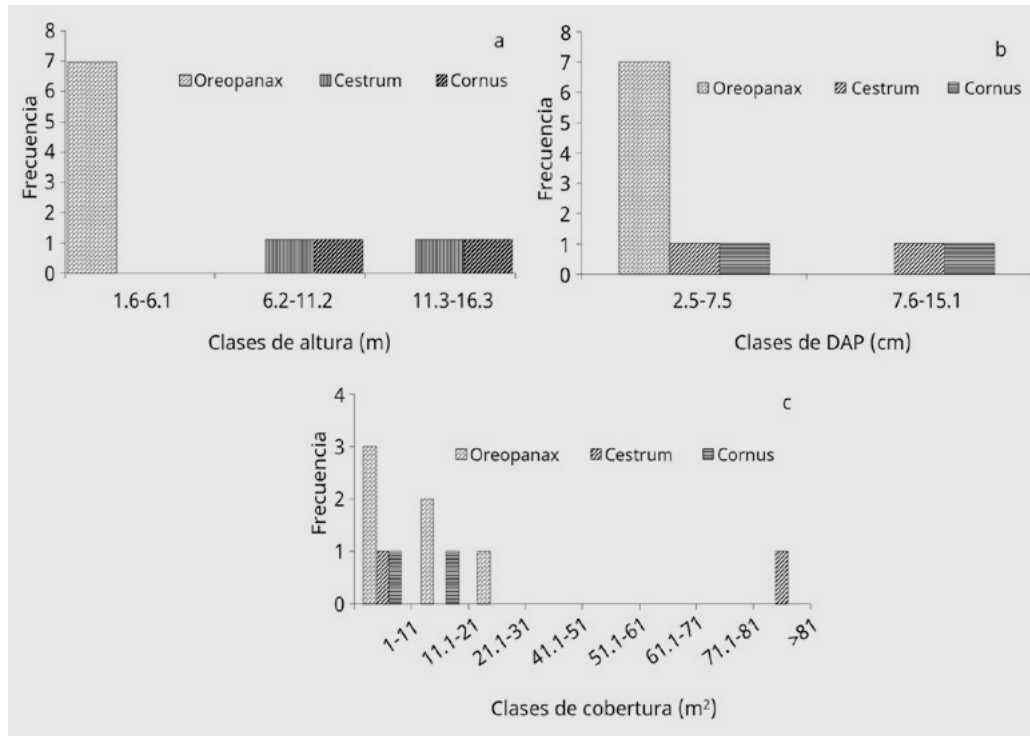
Figura 3. (a) Frecuencias por clases de altura de los árboles asociados a la especie dominante, (b) Frecuencias por clases del DAP de los árboles asociados a la especie dominante, (c) Frecuencias por clase de la cobertura de los árboles asociados a la especie dominante.



Fuente: elaboración propia.

Las especies de arbustos asociados a *A. jorullensis* son más abundantes que las especies arbóreas y tienen una mayor frecuencia de individuos en tres clases de altura y clases de DAP. *O. xalapensis* es el arbusto más abundante en la clase de 1.1 a 6.1 m de altura y 2.5 a 7.5 cm de DAP (Figura 4 a y 4 b), mientras que *C. thyrsoides*, y *C. disciflora* solo presentaron un individuo entre 6.2 y 11.2 m y 11.3 y 16.3 m de altura, y de igual forma en las dos clases de DAP descritas (Figura 4 a y 4 b). La cobertura de estas tres especies de arbustos se concentró en la clase de 1 a 11 m² y fue menos frecuente en las dos clases subsiguientes (Figura 4 c).

Figura 4. a) Frecuencia de clases de altura, b) DAP y c) cobertura de los arbustos asociados en los sitios estudiados.



Fuente: elaboración propia.

Efectos de la perturbación en la estructura de la vegetación y en el stock de carbono

En este estudio fue perceptible como cambia el paisaje del bosque de galería que por su distancia a los centros urbanos y probablemente una menor alteración de algunos sitios (tala, pastoreo de ganado, uso recreativo, etc.), mantiene una mayor cobertura en el dosel de los árboles y se observa en el estrato bajo del bosque menos luz, más epífitas y mayor humedad con árboles cubiertos por musgos, como observamos en los sitios Paraje La Cascada y Río Shorejé en el Municipio de Zitácuaro. Pero también se pudo detectar en algunos parajes el efecto de la perturbación por tala, pastoreo y turismo local, ya que se puede apreciar mayor entrada de luz en el ambiente, ausencia de epífitas y musgos, basura de diferente origen, pisadas de ganado, y restos de heces como observamos en los sitios Arroyo Seco en el Municipio de Angangueo y Macho de Agua en el Municipio de Zitácuaro (Cuadro 1).

De los cuadros clasificados con las observaciones del trabajo de campo se obtuvo un 40% de los cuadros como conservados (C), un 36.7% como poco perturbados (PP), un 13.3% como perturbados (P) y solo el 10% como muy perturbados (MP).

Se pudo observar que la estructura de la comunidad cambiaba sustancialmente entre los diferentes sitios estudiados sobre todo cuando se observaban alteraciones en las riberas de los arroyos y ríos, ya fuera por la construcción de pequeñas represas o la colocación de mangueras para extraer agua. Los efectos de estos cambios observados se analizaron para la estructura de la comunidad en conjunto considerando todas las especies de árboles y arbustos. Se observaron diferencias significativas entre la altura de los árboles ($H_3, 171 = 10.5, p = 0.015$), principalmente entre los sitios conservados y los perturbados ($z' = 2.89; p = 0.023$; Figura 5 a). También se observaron diferencias significativas en cuanto al DAP ($H_3, 171 = 10.32; p = 0.016$), entre los sitios conservados y los perturbados ($z' = 2.64; p = 0.049$; Figura 5 b). Además, con la cobertura del dosel de los árboles se mantuvo la diferencia significativa entre sitios ($H_3, 171 = 19.04; p = 0.0003$), principalmente entre conservados y poco perturbados con los sitios perturbados ($z' = 4.04, y z' = 3.06; p = 0.0003; p = 0.013$; Figura 5c).

Con base en el análisis de discriminantes por pasos, de las cinco variables medidas para los cuatro grupos de clasificación del grado de perturbación de todos los árboles y arbustos estudiados, se obtuvo que dos funciones discriminantes explican el 88 % de la varianza observada (Tabla 4). También se obtuvo que los estadísti-

cos de prueba para las funciones discriminantes son significativos (Lambda de Wilks = 0.802; F 9, 401 = 4.227; $p < 0.001$; Tabla 5), donde las variables significativas para esas funciones discriminantes fueron Pendiente, Cobertura y DAP (Tabla 4).

Tabla 4. Coeficientes estandarizados de las variables canónicas

	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
Pendiente (P)	-0.829	-0.322	-0.474
Cobertura (C)	-0.644	0.119	1.107
DAP (D)	0.277	0.909	-0.872
Eigenvalor	0.141	0.062	0.028
Proporción varianza acumulada	0.610	0.878	1.000

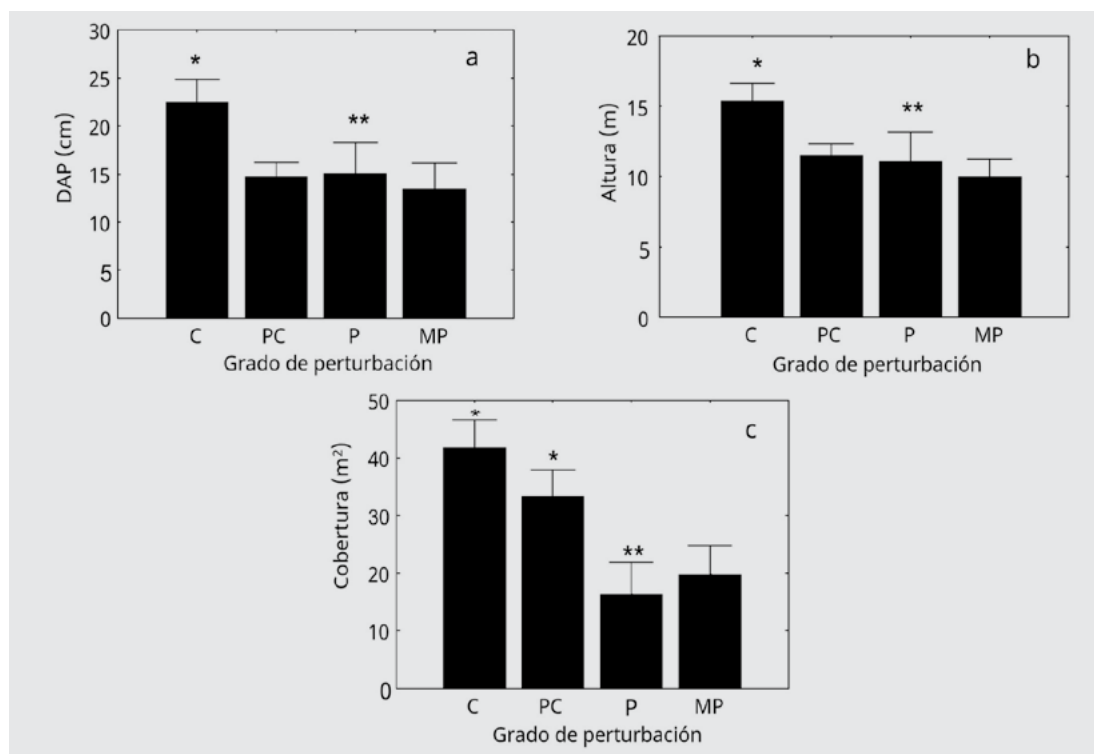
Fuente: elaboración propia.

De las tres funciones discriminantes obtenidas la primera explica el 61% de la varianza, con el mayor valor de coeficientes canónicos en las variables Pendiente y Cobertura, y la segunda función explica el 26% con el coeficiente más alto en la variable DAP (Tabla 4). Las variables altura sobre el nivel del mar y altura de las especies no fueron significativas. Los coeficientes canónicos estandarizados en cada función discriminante caracterizan a la pendiente y la cobertura como las variables que contribuyen con el mayor peso a la función discriminante 1 y al DAP como la segunda variable con mayor peso para la función discriminante 2, por lo cual se forman dos grupos de especies de árboles y arbustos, uno que contiene las especies en los cuadros pertenecientes a los sitios conservados y poco conservados, y otros que contiene a las especies en los cuadros perturbados y muy perturbados (Figura 4; Tabla 5).

El análisis discriminante reveló una clara separación de la estructura de la vegetación entre sitios conservados y perturbados, destacando una mayor dominancia de individuos de gran porte (DAP alto) en sitios degradados, un menor número de especies. Si bien los grupos de parcelas presentan cierta superposición, se identifican tendencias en la distribución que reflejan modificaciones estructurales y de biodiversidad asociadas a los distintos niveles de perturbación. Esto sugiere que los procesos de perturbación afectan la organización estructural del bosque y, en consecuencia, su capacidad de almacenamiento de carbono.

Se observaron diferencias significativas con el ANOVA de Kruskal-Wallis entre el DAP ($H_{3,171} = 10.32$; $p = 0.016$), entre los sitios conservados y los perturbados ($z' = 2.64$; $p = 0.049$; Figura 5 a), en la altura de los árboles ($H_{3,171} = 10.5$, $p = 0.015$), principalmente entre los sitios conservados y los perturbados ($z' = 2.89$; $p = 0.023$; Figura 5 b), y del mismo modo con la cobertura del dosel de los árboles se mantuvo la diferencia significativa entre sitios ($H_{3,171} = 19.04$; $p = 0.0003$), pero ahora entre sitios conservados y poco conservados con los sitios perturbados ($z' = 4.04$, y $z' = 3.06$; $p = 0.0003$; $p = 0.013$; Figura 5c).

Figura 5. Diferencias significativas de las variables de estructura con base en la clasificación de perturbación, a) DAP, b) altura y c) cobertura. C, conservado. PC, poco conservado. P, perturbado. MP, muy perturbado. Las diferencias significativas se marcan con * ($p < 0.05$) y ** ($p < 0.001$).



Fuente: elaboración propia.

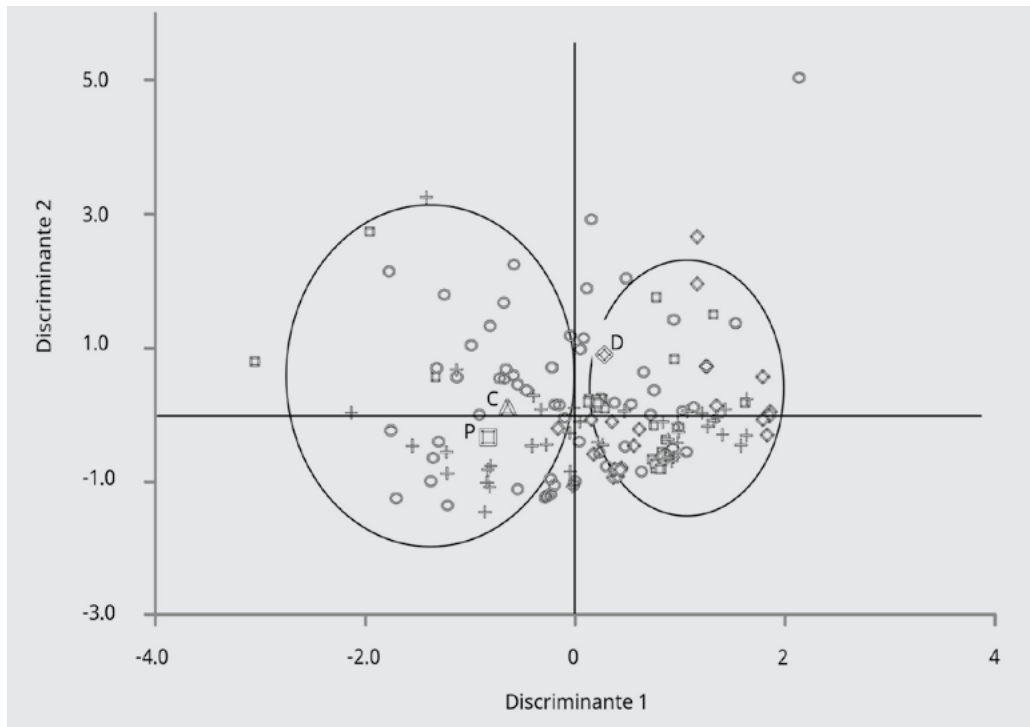
Con base en el análisis de discriminantes por pasos, de las cinco variables medidas para los cuatro grupos de clasificación del grado de perturbación de todos los árboles y arbustos estudiados, se obtuvo que dos funciones discriminantes explican el 88 % de la varianza observada (Tabla 4). También se obtuvo que los estadísticos de prueba para las funciones discriminantes son significativos (Lambda de Wilks = 0.802; $F_{9, 401} = 4.227$; $p < 0.001$; Tabla 5), donde las variables significativas para esas funciones discriminantes fueron pendiente, cobertura y DAP. De las tres funciones discriminantes obtenidas, la primera explica el 61% de la varianza, con el mayor valor de coeficientes canónicos en las variables pendiente y cobertura, y la segunda función explica el 26% con el coeficiente más alto en la variable DAP (Tabla 4). Las variables altitud y altura de las especies no fueron significativas. Los coeficientes canónicos estandarizados en cada función discriminante caracterizan a la pendiente y cobertura como las variables que contribuye con el mayor peso a la función discriminante 1 y al DAP como la segunda variable con mayor peso para la función discriminante 2, por lo cual se forman dos grupos uno que contiene las especies en los cuadros pertenecientes a los sitios conservados y poco conservados, y otros que contiene a las especies en los cuadros perturbados y muy perturbados (Figura 6; Tabla 5).

Tabla 5. Estadísticos de prueba de las funciones discriminantes para las variables estudiadas

Función	Eigenvalor	Correlación Canónica R	Lambda de Wilks	Ji²	gl	p <
Discriminante 1	0.141	0.352	0.802	36.66	9	0.0001
Discriminante 2	0.062	0.242	0.916	14.66	4	0.0055
Discriminante 3	0.028	0.166	0.973	4.64	1	0.0313
gl = grados de libertad; p = probabilidad menor						

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Dispersión de las especies de árboles y arbustos con base en las variables estudiadas, agrupadas por la consideración de perturbación en las dos primeras funciones discriminantes, considerando las categorías asignadas para los sitios de estudio.



Fuente: elaboración propia.

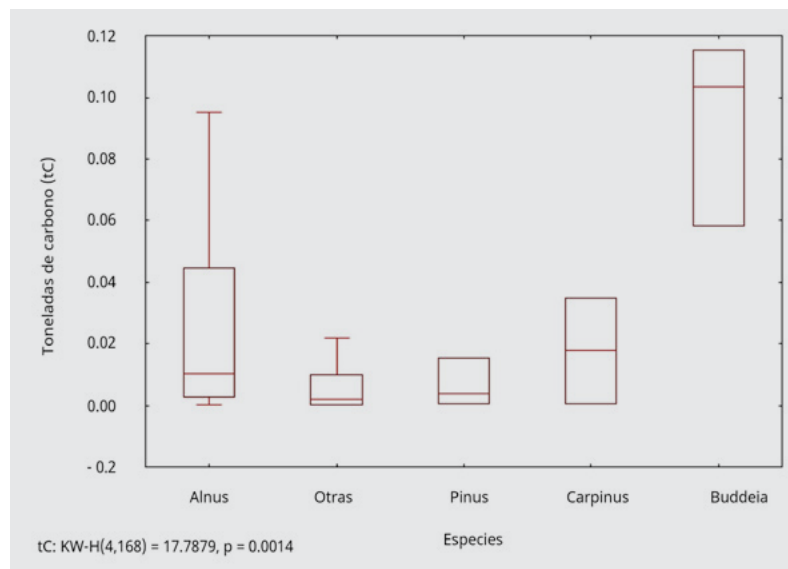
Los cuadros negros y rombos de la figura 6 representan las especies en los sitios Perturbados (P) y Muy perturbados (MP), los círculos claros (o) y cruces (+) representan los sitios Conservados (C) y Poco conservados (PC). El triángulo con centro claro (Δ) es el eigenvector de cobertura (C), cuadro con centro claro ($\square$) es el eigenvector de pendiente (P) y rombo con centro claro ($\diamond$) es el eigenvector de DAP (D).

El total de carbono fue de 200.52 tC ha⁻¹ donde *Alnus jorullensis* es la especie con mayor contribución (87%), seguido de *Carpinus carolineana* (10%) y *Buddleia* (2%) y las especies del género *Pinus* y la clase otras debido a su mínima contribución (%). Este grupo incluye especies como *Salix bonplandiana*, *Quercus sp.*, *Arbutus tessellata*, entre otras. Las comparaciones post hoc indicaron que las diferencias se dieron específicamente entre *Alnus* y el grupo otras ($p = 0.03$), así como entre *Buddleia cordata* y el grupo otras ($p = 0.03$), pero no entre las demás especies evaluadas ($p > 0.05$ en todas las comparaciones).

No se encontraron diferencias significativas entre *Pinus*, *Carpinus carolineana* y las demás especies ($p > 0.05$ en todas las comparaciones).

Estos resultados sugieren que *Alnus* y *Buddleia cordata* son especies clave en el almacenamiento de carbono en estos bosques, mientras que las especies agrupadas como "otras" tienen un papel menos relevante (Figura 7).

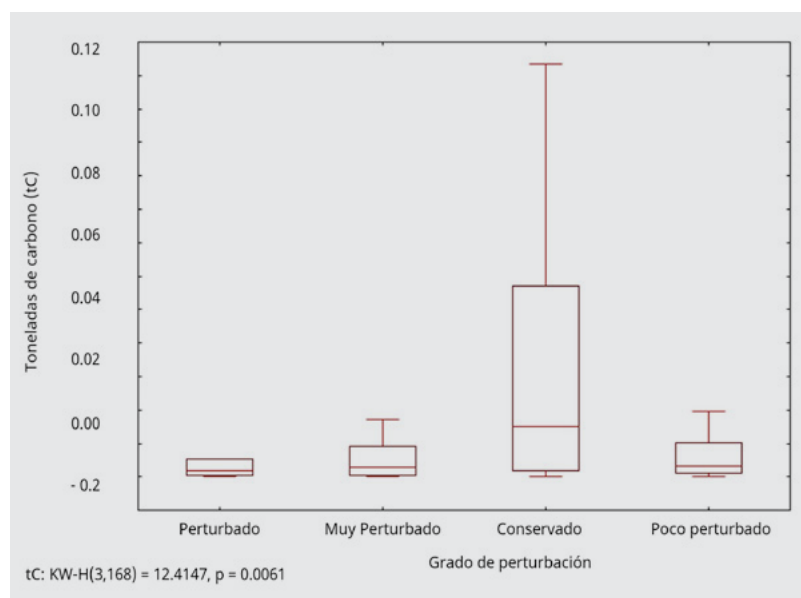
Figura 7. Diagrama de caja con el valor de las diferencias significativas por Kruskal-Wallis (KW) entre la especie ($p < 0.0014$). Con la prueba de comparaciones múltiples, *Alnus* vs. otras ($p < 0.0035$), *Buddleia* vs. *Carpinus* ($p < 0.03.1$), marcan las diferencias significativas.



Fuente: elaboración propia.

La prueba de Kruskal-Wallis reveló diferencias significativas en el almacenamiento de carbono entre los distintos grados de perturbación ($H(3, N=168) = 12.415$, $p = 0.006$; Figura 8). Las áreas conservadas presentaron diferencias significativas con las perturbadas ($p = 0.019$) y una tendencia cercana a la significancia con las poco perturbadas ($p = 0.051$) aunque esta no alcanzó el umbral tradicional de $p < 0.05$. No hubo diferencias significativas entre muy perturbado, perturbado y poco perturbado ($p > 0.05$ en todas las comparaciones). Estos resultados indican que el almacenamiento de carbono disminuye conforme aumenta el grado de perturbación, siendo las zonas conservadas las más eficientes en secuestro de carbono.

Figura 8. Diagrama de caja con el valor de las diferencias significativas por Kruskal-Wallis (KW) entre el estado de perturbación ($p < 0.0061$). Con la prueba de comparaciones múltiples, conservado vs. muy perturbado ($p < 0.019$), marcan las diferencias significativas.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas que han documentado una disminución en el almacenamiento de carbono en bosques según un gradiente de perturbación. Por ejemplo, un estudio en la Amazonía Oriental reportó una reducción significativa del carbono almacenado en sitios degradados respecto a sitios conservados (Correa et al., 2015).

Conclusiones y discusión.

Presentar una síntesis del estudio y recomendaciones de cómo utilizar o aplicar los resultados en instrumentos de política pública.

El valor observado de 200 tC ha⁻¹ ubica a este bosque ribereño dentro del rango superior de almacenamiento documentado para bosques templados y de montaña en México, especialmente aquellos con baja intervención. Este resultado supera ampliamente el promedio de bosques riparios perturbados (~80–130 tC ha⁻¹) y se aproxima a los valores de bosques tropicales húmedos (Girardin et al., 2010; Álvarez et al., 2012).

El dominio de *Alnus* en la captura de carbono concuerda con estudios en bosques templados y ribereños de montaña, donde esta especie pionera muestra **crecimiento rápido**, alto contenido de biomasa aérea y capacidad de fijar nitrógeno, lo que mejora su productividad incluso en suelos perturbados (Thomas et al., 1999; Ávila-Akerberg et al., 2018).

Los resultados muestran que el carbono disminuye significativamente con el aumento del grado de perturbación, siendo las áreas conservadas las más eficientes en almacenamiento. Esto es coherente con la literatura, donde la alteración del bosque (tala, apertura de claros, ganadería) reduce la biomasa acumulada en forma directa (árboles eliminados) y también de manera indirecta (menor reclutamiento, cambios en composición) (Chazdon et al., 2016; Sierra et al., 2007).

Relevancia para la conservación

Este estudio proporciona evidencia de que el grado de perturbación en los bosques ribereños afecta significativamente su estructura y, por inferencia, su capacidad de almacenamiento de carbono. Para la formulación de políticas públicas, se recomienda:

- Implementar medidas de conservación estrictas en los sitios menos perturbados para preservar su capacidad de secuestro de carbono.
- Promover programas de restauración ecológica en los sitios más perturbados, enfocándose en la recuperación de la estructura vegetal y la biodiversidad.
- Integrar el monitoreo del carbono en los programas de manejo forestal, utilizando el DAP como indicador clave.

La capacidad de los bosques ribereños para almacenar carbono es crucial en el contexto del cambio climático. La pérdida de esta capacidad debido a la perturbación no solo afecta al clima global, sino también a la biodiversidad local y a los servicios ecosistémicos que estos bosques proporcionan a las comunidades humanas.

Propuesta de sitios de restauración

Este estudio ha identificado a *Alnus* como el género dominante en los sitios evaluados y la que más contribuye al stock total de carbono, lo que sugiere su idoneidad para programas de restauración ecológica. La elección de utilizar la especie dominante en los esfuerzos de restauración se fundamenta en su capacidad para adaptarse mejor al ecosistema y su potencial para contribuir a la recuperación ecológica de las áreas degradadas. Las especies de *Alnus* son clave en los bosques ribereños debido a su habilidad para fijar nitrógeno en el suelo (Sroka et al., 2017), lo que mejora la fertilidad del suelo y promueve la biodiversidad. Además, presentan una alta capacidad de adaptación a las condiciones hídricas fluctuantes propias de los ecosistemas ribereños, lo que le permite prosperar en áreas de terrazas de inundación y ríos con corrientes permanentes. Su rápido crecimiento y alta tasa de regeneración también la convierten en una especie ideal para acelerar los procesos de restauración en áreas afectadas por la deforestación o la alteración de los ecosistemas ribereños (Sroka et al., 2017).

Las áreas con mayor potencial para esta restauración incluyen San Juan Río Viejo, Río Puentezuelas, Nazaret y Río Limpio (Tabla 1). Estas zonas se caracterizan por la presencia de terrazas de inundación y ríos con corrientes permanentes, lo que proporciona un ambiente adecuado para la regeneración de especies del bosque de galería como *Alnus jorullensis* o *Alnus acuminata*. Además, los sitios mencionados presentan un nivel de perturbación que podría permitirles una rápida recuperación a corto plazo.

Por lo tanto, se recomienda implementar un programa de restauración enfocado en *Alnus jorullensis*, acompañado de un monitoreo continuo de la supervivencia y crecimiento de las especies plantadas. Este enfoque asegurará la recuperación de los ecosistemas ribereños y la preservación de la biodiversidad, al mismo tiempo que se promueve la resiliencia de estos hábitats frente a futuras perturbaciones.

Líneas futuras de investigación

- Evaluar el impacto de diferentes tipos de perturbación (como actividades agrícolas, urbanización o cambio climático) en la estructura y el almacenamiento de carbono en los bosques ribereños.
- Evaluar las tasas de crecimiento de las especies para conocer su velocidad de secuestro.
- Investigar estrategias de restauración que puedan acelerar la recuperación de la estructura y la capacidad de almacenamiento de carbono en los bosques ribereños perturbados.
- Los datos de carbono pueden combinarse con indicadores de biodiversidad, ya que diversos estudios muestran sinergias entre la conservación de especies nativas y la capacidad de almacenamiento de carbono en bosques naturales (Strassburg et al., 2020).

Referencias

- Aguilar-Hernández, L., García-Martínez, R., Gómez-Miraflor, A., & Martínez-Gómez, O. (2016). *Estimación de biomasa mediante la generación de una ecuación alométrica para madroño (Arbutus xalapensis)*. IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma Chapingo. <https://www.researchgate.net/profile/Rene-Martinez-4/publication/305681499>
- Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W. D., & Verchot, L. V. (Eds.). (2012). *Analyzing REDD+: Challenges and choices*. CIFOR. <https://doi.org/10.17528/cifor/003805>
- World Wide Fund for Nature (WWF). (2019). Deforestation drops by 57% in the winter habitat of the Monarch Butterfly in Mexico. [WWF. https://www.panda.org/wwf_news/?336570/Deforestation-drops-by-57-in-the-winter-habitat-of-the-Monarch-Butterfly-in-Mexico](https://www.panda.org/wwf_news/?336570/Deforestation-drops-by-57-in-the-winter-habitat-of-the-Monarch-Butterfly-in-Mexico).
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., ... & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10), 3177–3190. <https://doi.org/10.1111/gcb.12629>
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- CONAFOR. (2020). *Programa de Pago por Servicios Ambientales*. <https://www.gob.mx/conafor/acciones-y-programas/pago-por-servicios-ambientales-2020>
- CONANP. (2020). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gobierno de México.
- CONANP. (2023). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/programas-de-manejo-vigentes>
- Corrêa, Z. M. L., Celentano, D., Oliveira, E. C., Triana, S. P., Sodré, D. N., Muchaviso, K. H. M., & Rousseau, G. X. (2015). Impacto da degradação sobre o estoque total de carbono de florestas ripárias na Amazônia Oriental, Brasil. *Acta Amazônica*, 45(3), 271–282.
- de la Peña, D. G., Maldonado, G., & Martínez, M. (2019). Evaluación del impacto de la perturbación antrópica en bosques mesófilos y su relación con el almacenamiento de carbono. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55), 52–74. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1973>
- FAO. (2021). *Forest-related emissions, removals and carbon stocks: 1990–2020* (FAO Forestry Paper No. 186). <https://doi.org/10.4060/cb7445en>
- Gregory, S. V., Swanson, F. J., McKee, W. A., & Cummins, K. W. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41(8), 540–551. <https://doi.org/10.2307/1311607>
- Hernández-Moreno, J. A., Velázquez-Martínez, A., Fierros-González, A. M., Gómez-Guerrero, A., Reyes-Hernández, V. J., & Vera-Castillo, J. A. G. (2020). Estimación de biomasa aérea y carbono, en rodales con y sin manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Madera y Bosques*, 26(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2612006>
- Lot, A., & Novelo, A. (1990). *Vegetación acuática de México: Un ejemplo de la vegetación del trópico seco*. UNAM.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html>
- Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). *The ecology of interfaces: Riparian zones*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Naiman, R. J., Décamps, H., & McClain, M. E. (2005). *Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities*. Elsevier Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/riparia/naiman/978-0-12-663315-3>
- Rawat, G. S. (1997). Conservation status of forests and wildlife in the Eastern Ghats, India. *Environmental Conservation*, 24(4), 307–315.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa.
- Sroka, K., Chodak, M., Klimek, B., & Pietrzykowski, M. (2017). Effect of black alder (*Alnus glutinosa*) admixture to scots pine (*Pinus sylvestris*) plantations on chemical and microbial properties of sandy mine soils. *Applied Soil Ecology*, 124, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.031>
- Strassburg, B. B. N., Iribarren, A., Beyer, H. L., Cordeiro, C. L., Crouzeilles, R., Jakovac, C. C., ... & Balmford, A. (2020). Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, 586(7831), 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- TEEB. (2008). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: An Interim Report*. European Communities.
- UN-REDD Programme. (2022). <https://www.un-redd.org>
- UNESCO. (2008). *Monarch Butterfly Biosphere Reserve*. <https://whc.unesco.org/en/list/1290>

CAPÍTULO TRES

HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO SUSTENTABLE DEL PAISAJE A TRAVÉS DE LA VALORACIÓN DE LA CONECTIVIDAD Y LA VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL EN LAS REGIONES SIERRA Y COSTA DE CHIAPAS

Dr. Arturo Vicente Arreola Muñoz y M. en C. Mauricio Valencia Negrete¹
M. en Geog. Gerardo Jesús Negrete Fernández²

Resumen

Este documento sintetiza los hallazgos del estudio realizado entre 2022 y 2023, enfocado en la región Sierra y Costa de Chiapas, con énfasis en la conectividad ecológica y la vulnerabilidad socioambiental como mecanismo para mantener y mejorar los servicios ambientales de las ANP. Se propone una estrategia de manejo sustentable del paisaje basada en corredores de sustentabilidad que integran criterios biofísicos, sociales y territoriales. A partir del análisis de fragmentación del paisaje, integridad forestal, sensibilidad, exposición y peligrosidad, se identifican áreas prioritarias para conservar, restaurar y fortalecer los servicios ambientales clave. La metodología integra herramientas de análisis espacial con criterios ecológicos y sociopolíticos, destacando el papel central de los núcleos agrarios y las comunidades locales en la gobernanza ambiental. Se identificaron 10 corredores de sustentabilidad que articulan Áreas Naturales Protegidas (ANP) y territorios comunitarios, permitiendo establecer una base sólida para el diseño territorial participativo con enfoque biocultural y adaptativo.

Palabras clave: servicios ambientales, áreas naturales protegidas, Manejo adaptativo, resiliencia de ecosistemas, fragmentación ecológica.

Abstract

This document summarizes the findings of a study conducted between 2022 and 2023, focusing on the Sierra and Coastal region of Chiapas, with an emphasis on ecological connectivity and socioenvironmental vulnerability as a mechanism to maintain and improve the environmental services of ANP. A sustainable landscape management strategy based on sustainability corridors that integrate biophysical, social, and territorial criteria is proposed. Based on the analysis of landscape fragmentation, forest integrity, sensitivity, exposure, and hazard, priority areas are identified for conserving, restoring, and strengthening key environmental services. The methodology integrates spatial analysis tools with ecological and sociopolitical criteria, highlighting the central role of agrarian communities and local communities in environmental governance. Ten sustainability corridors were identified that connect Natural Protected Areas (NPAs) and community territories, establishing a solid foundation for participatory territorial design with a biocultural and adaptive approach.

¹ Coordinador General del Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamerica A.C. (IDESMAC). Correo: arturovam@yahoo.com.mx y Técnico especialista del Área de Sistemas de Información Territorial del Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamerica A.C. (IDESMAC). Correo: mvalencia.idesmac@gmail.com

² Consultor independiente en planeación territorial y manejo participativo de recursos naturales. Correo: jesús.negrete49@gmail.com

Keywords: environmental services, protected natural areas, adaptive management, ecosystem resilience, ecological fragmentation.

Introducción

El área de estudio alberga siete Áreas Naturales Protegidas (ANP) de carácter federal (incluyendo la Reserva de la Biósfera El Triunfo, La Encrucijada y la Selva El Ocote), al menos siete ANP estatales y una creciente superficie bajo esquemas voluntarios de conservación. Destacan en este rubro las Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC), en total existen 7, muchas de ellas impulsadas por productores organizados del sector cafetalero en la Sierra (mapa 1).

Mapa 1. Localización del área de estudio



Fuente: elaboración propia.

El estudio parte de un enfoque crítico del paisaje como una construcción socioecológica. Se retoman las ideas de Bruno Latour sobre la crisis ecológica como crisis ontológica, promoviendo el 'atterrizaje' como forma de reconexión con los territorios. Enrique Leff aporta desde la ecología política, la importancia de los saberes locales y los derechos bioculturales. Arreola y Saldívar integran una lectura geohistórica del territorio, identificando paisajes fragmentados como expresión de conflictos y resistencias. Finalmente, Beier et al. proponen un enfoque de conectividad que rechaza modelos verticales y prioriza soluciones localizadas, útiles para planear territorios resilientes ante el cambio climático.

Metodología

Se definieron 33 municipios como área de estudio, en el marco del Ordenamiento Ecológico de la región Sierra y Costa de Chiapas. Se combinaron análisis de conectividad estructural y funcional con evaluación de vulnerabilidad. Para conectividad se emplearon herramientas como FRAGSTATS, Linkage Mapper y FragScape. Para vulnerabilidad se aplicaron técnicas de álgebra de mapas, análisis multicriterio y estadística espacial considerando

sensibilidad, susceptibilidad, peligrosidad y exposición. La convergencia de estos enfoques permitió diseñar corredores de sustentabilidad como zonas prioritarias de intervención, considerando tanto aspectos biofísicos como sociales.

Conectividad

La conectividad, tanto estructural como funcional, incluyó los análisis de:

- **Fragmentación.** Se tomó como base la capa de uso de suelo y vegetación 2018 correspondiente a la Serie VII de INEGI (2018). Se estableció como criterio, solo utilizar las clases correspondientes a vegetación primaria y vegetación secundaria arbórea. Las métricas utilizadas y su significado se calcularon a partir de la aplicación del FRAGSTATS v4.2 (McGarigal, Cushman, & Ene, 2012).
- **Análisis de compactación.** Obtenidos los resultados del análisis de fragmentación, se procedió a hacer un ajuste de compactación, empleando la misma aplicación, cuyo propósito fundamental fue establecer un umbral de área vinculante con los requerimientos a nivel de la región de estudio. Para ello se estableció una constante de área mínima de las teselas mayor a mil ha, ampliando la densidad de la malla utilizada para los procedimientos de FRAGSTATS.
- **Conectividad.** Para valorar la conectividad se utilizó la métrica ENN de FRAGSTATS, que permite dar una mejor claridad a los resultados mediante la cartografía estadística, y analiza la distancia euclidiana al parche vecino de la misma clase más cercano, medida en metros. El comportamiento de la métrica es el siguiente: a medida que ENN se aproxima a 0, disminuye la distancia al vecino más cercano, es decir, los parches de la misma clase están más agregados. Aumenta, sin límite, a medida que aumenta la distancia entre parches vecinos de la misma clase, es decir, los parches están más alejados o aislados (McGarigal et al., 2012).
- **Corredores.** Linkage Mapper (Linkage Mapper, 2022) es una de las aplicaciones que permite llevar a cabo análisis territoriales basados en conectividad, mediante corredores ecológicos, con el fin de combinar parches territoriales. La herramienta para establecer los corredores se fundamenta en un mapa de aptitud, a partir de variables que determinan la facilidad o dificultad espacial para que los elementos en cuestión puedan conectarse de un nodo a otro a manera de una superficie de fricción, que considera también la distancia entre los nodos.
- **Análisis por tamaño de malla efectivo por núcleo agrario.** FragScape v2.03 (FragScape, 2023) es un complemento de QGIS 3.16.14 (QGIS Development Team, 2021) que calcula las métricas de fragmentación del paisaje definidas por Jaeger (2000). Entre estas métricas, el tamaño efectivo de la malla se ha utilizado para cuantificar la fragmentación del paisaje. Este autor definió tres nuevas medidas de fragmentación del paisaje: división del paisaje, índice de división y tamaño de malla efectivo.

Vulnerabilidad

Uno de los principales factores que permite caracterizar los sistemas socio-ecológicos es su vulnerabilidad. Ésta se vincula con las características geográficas de los ecosistemas y, por lo tanto, con los contextos territoriales en los que residen las comunidades afectadas por dichos impactos (Krellenberg, Welz, Link & Barth, 2017). Una baja capacidad de respuesta se asocia a un alto nivel de vulnerabilidad (Azócar de la Cruz, 2018).

El proceso metodológico parte de tres dimensiones de los ecosistemas; 1) relacionado con la riqueza de especies y su abundancia en los territorios; 2) la susceptibilidad y exposición de éstos ante fenómenos hidrometeorológicos y geológicos y; 3) su peligrosidad, definida como la probabilidad de incidencia de los fenómenos, específicamente tormentas tropicales o huracanes, sismos y vulcanismo. En un análisis final de álgebra de mapas y estadística de clúster se obtuvieron cinco niveles de vulnerabilidad.

Los peligros se determinan por la exposición a fenómenos capaces de afectar y provocar daño en los ecosistemas dentro de un área específica. La peligrosidad se definió a partir de datos históricos, considerando su magnitud, alcance y duración, con el objetivo de establecer su relación con la distribución de la exposición ecosistémica.

El tema de susceptibilidad se dividió en dos análisis; 1) susceptibilidad, entendida como la condición de los ecosistemas definida a partir de rangos en los cuales es posible soportar las variaciones o intensidades de los fenómenos externos que pueden alterar su estructura, funciones y funcionalidad; 2) sensibilidad, definida como el grado de resiliencia, por efecto de tamaño y número de los fragmentos (Laurance, et al. 2007). En la primera se obtuvieron los rangos de distribución de los ecosistemas a partir de los parámetros físicos, climáticos y de relieve; en la segunda, se obtuvo la fragmentación de los ecosistemas (tamaño de los polígonos de las clases); las categorías y distribución espacial de la sensibilidad se basa estadísticamente en un análisis de clúster con los datos presentes en el rango obtenido entre el tamaño de los fragmentos más pequeños y los más grandes.

La susceptibilidad involucró el análisis de rangos de precipitación, temperatura, corrientes de agua perennes y disección vertical. Con ello se establece la amplitud de distribución de cada categoría de la cobertura de uso de suelo y vegetación, en cada uno de los rangos. Se estandarizaron y normalizaron los resultados para obtener los niveles de susceptibilidad finales (muy alta, alta, media, baja y muy baja).

Es importante mencionar que, para todo el análisis de vulnerabilidad, en los casos en que las corridas estadísticas permitieron discriminar valores extremos, los resultados se presentan en menor número de niveles.

RESULTADOS

Fragmentación

Los análisis realizados revelan una región con una alta diversidad de ecosistemas, pero marcada por procesos de fragmentación y degradación. La fragmentación del paisaje es significativa en tipos de vegetación como el bosque de pino-encino, mientras que el bosque mesófilo de montaña y la selva alta perennifolia conservan aún parches de gran tamaño. El índice de integridad forestal muestra un patrón contrastante entre zonas serranas bien conservadas y planicies costeras degradadas.

En términos de conectividad estructural, se identificaron 150 teselas mayores a 1,000 ha, siendo el bosque mesófilo de montaña y la selva alta perennifolia las principales matrices. Se analizaron 17 Nodos de Importancia para la Conservación (NIC) y se modelaron 41 corredores potenciales, algunos de hasta 285 km de longitud. La región serrana muestra alta conectividad, mientras que la planicie costera presenta alta fricción y baja conectividad.

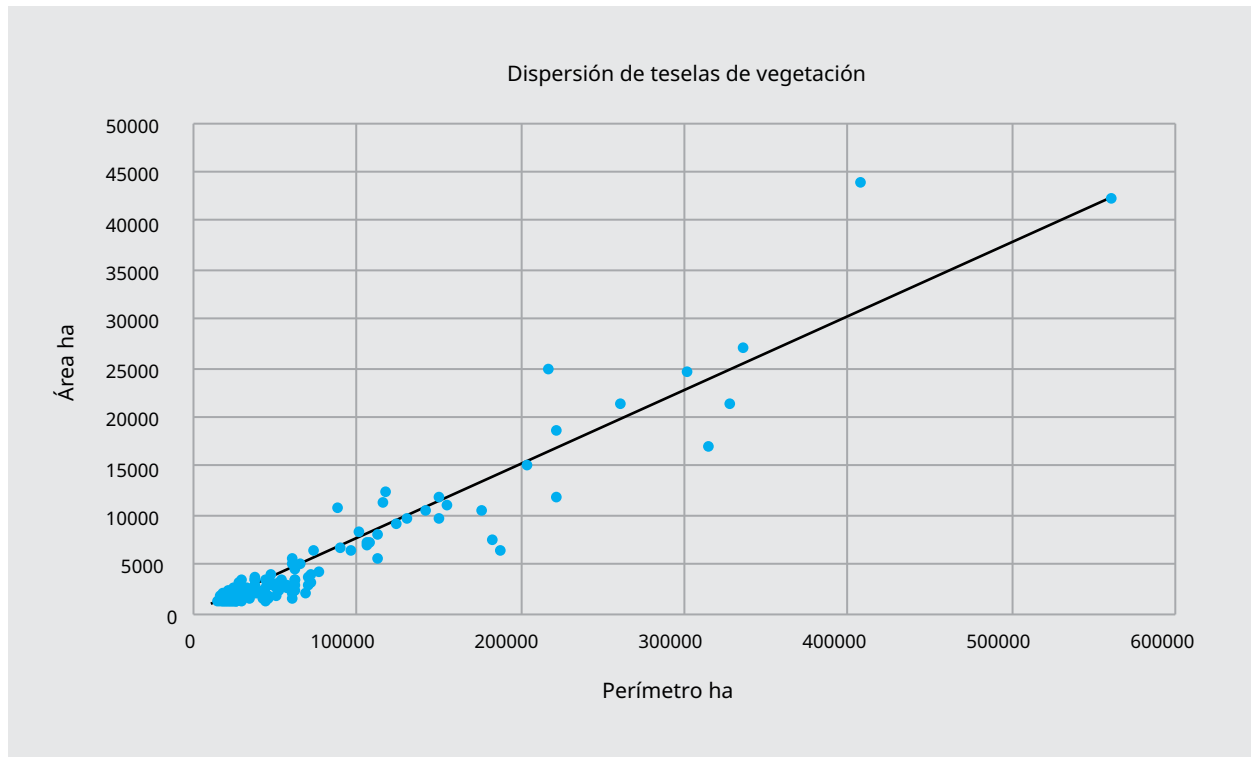
Tabla 1. Métricas del paisaje para el área de estudio.

Siglas	CA	NP	LPI	TE	ED	AREA_MN	ENN_MN
BIN	221.13	3	0.009	0	0	73.71	1,385.95
BMM	204,757.56	27	16.965	1,181,820	1	7,583.61	1,269.24
BO	2,359.08	2	0.144	44,880	0	1,179.54	20,657.89
BP	121,100.67	97	1.388	816,960	1	1,248.46	1,311.60
BPQ	153,652.32	110	2.366	714,450	1	1,396.83	1,369.51
BQ	18,989.82	29	0.834	135,960	0	654.82	4,507.07
BQP	25,481.52	42	0.295	216,810	0	606.70	2,987.42
MAN	46,568.7	26	2.149	164,190	0	1,791.10	1,155.42
POP	761.4	4	0.045	18,900	0	190.35	26,020.44
PRADM	172.62	1	0.020	7,080	0	172.62	0
S	2,602.8	11	0.099	5,700	0	236.61	4,836.46
SAP	148,776.66	47	6.882	403,650	0	3,165.46	427.89
SBC	26,221.14	45	0.317	126,270	0	582.69	3,061.78
SBEC	1,001.79	5	0.039	16,530	0	200.35	22,761.53
SG	3,126.96	16	0.093	37,050	0	195.43	7,652.79
SMSC	10,529.1	16	0.365	60,210	0	658.06	12,148.13
SMSP	47,006.46	46	3.099	176,160	0	1,021.87	1,889.96
SN	18,981.99	14	0.676	92,190	0	1,355.85	6,792.64
T	27,933.66	7	2.871	159,990	0	3,990.52	10,853.70

Fuente: elaboración propia. Donde: *BIN*, bosque inducido; *BMM*, bosque mesófilo de montaña; *BO*, bosque de oyamel; *BP*, bosque de pino; *BPQ*, bosque de pino-encino; *BQ*, bosque de encino; *BQP*, bosque de encino-pino; *MAN*, manglar; *POP*, popal; *PRADM*, pradera de montaña alta; *S*, sabana; *SAP*, selva alta perennifolia; *SBC*, selva baja caducifolia; *SBEC*, selva baja espinosa caducifolia; *SG*, selva de galería; *SMSC*, selva mediana subcaducifolia; *SMSP*, selva mediana subperennifolia; *SN*, sabanoide; *T*, tular.

Estas métricas (tabla 1) explican la existencia de una separación entre bloques compactos con vegetación y bloques sin vegetación, lo cual se aprecia con claridad en la gráfica de dispersión superficie/perímetro de las teselas del ADE (figura 1). Se observa un patrón de segmentación asociado a las áreas compactas: dos parches sobresalen con más de 40 mil ha; posteriormente, se identifica un grupo de nueve teselas con superficies entre 15 mil y 25 mil ha; seguido de un conjunto de 24 teselas con áreas entre 5 mil y 15 mil ha. La suma de estas superficies alcanza las 448 mil ha, que corresponden con un 52 % del total de la superficie considerada con vegetación arbórea primaria y secundaria. El resto del ADE está cubierto por 117 teselas con superficies menores a 5 mil ha. Además del proceso de segmentación —que implica la separación espacial entre bloques compactos con vegetación y bloques sin vegetación—, se identifica también un patrón de fragmentación a lo largo de los bordes de las áreas compactas. En conclusión, la segmentación y una persistente fragmentación de borde constituyen los dos procesos dominantes en la región.

Figura 1. Dispersión del área y perímetro de las teselas en el área de estudio.



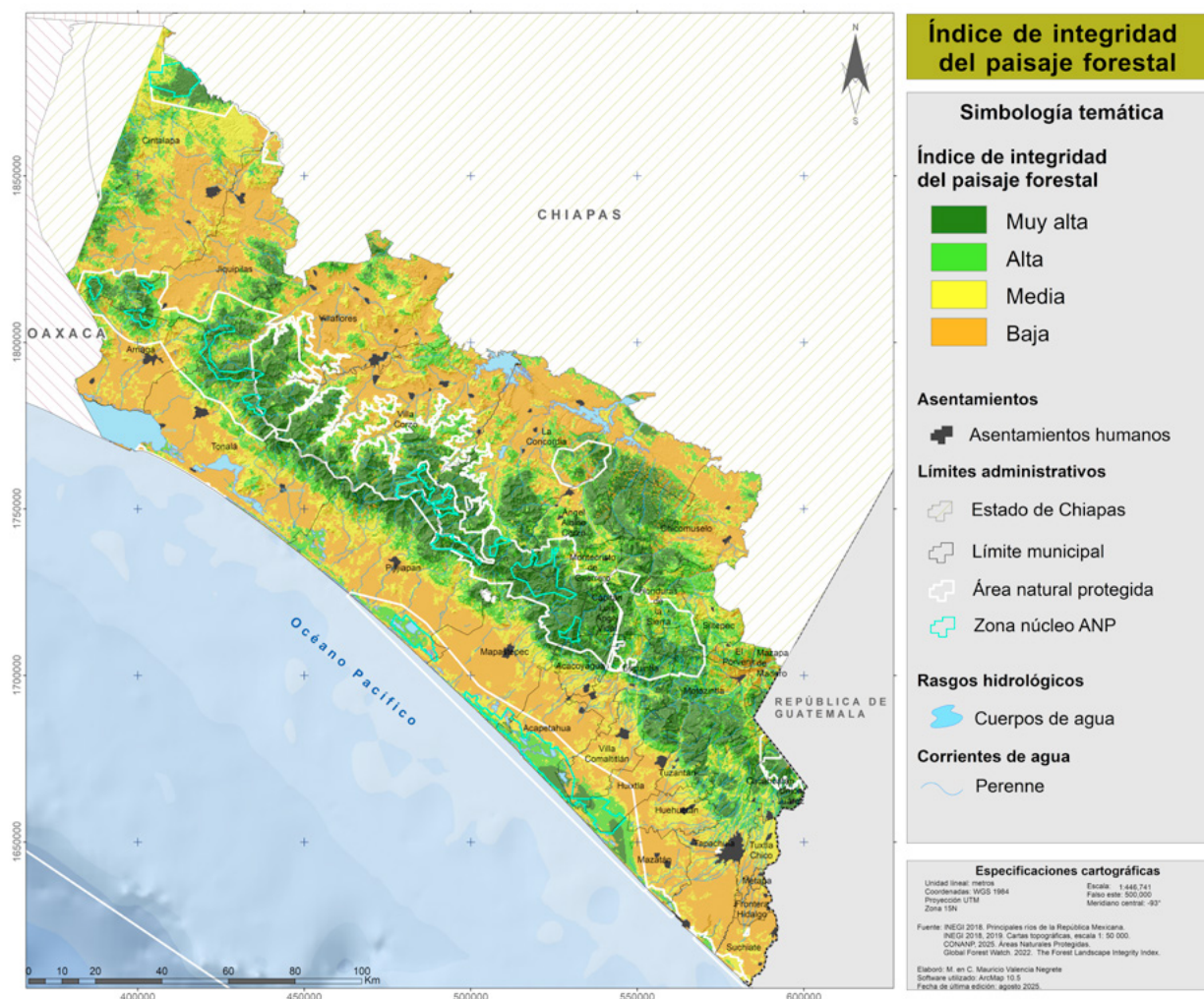
Fuente: elaboración propia.

Integridad del paisaje forestal

Para este análisis se utilizó el Forest Landscape Integrity Index (FLII), una capa desarrollada por Grantham et al. (2020), que integra tres componentes principales: i) presiones antrópicas observadas —como infraestructura, agricultura y pérdida de cobertura arbórea—; ii) presiones inferidas, modeladas en función de la proximidad a dichas presiones; y iii) alteraciones en la conectividad ecológica del bosque. Este índice fue empleado como un segundo referente para evaluar la continuidad del paisaje forestal en el área de estudio. El mapa obtenido presenta un patrón de integridad forestal contrastante. Por un lado, se puede ver que la parte serrana se encuentra, en gran medida, dominada por una integridad forestal muy alta, destacando las porciones correspondientes a las ANP El Triunfo, La Frailescana y La Sepultura (especialmente hacia sus zonas núcleo), así como una significativa porción que abarca los municipios de La Concordia, Jaltenango y Chicomuselo; así como otra área, aunque más fragmentada, que incluye Motozintla, Tuzantán, Escuintla y Siltepec, y dos zonas más pequeñas correspondientes a las ANP Volcán Tacaná y la Encrucijada. En el municipio de Cintalapa se observan tres zonas con valoración muy alta, dos hacia los límites con Oaxaca y una hacia el ANP Selva el Ocote. En contraste, las zonas más planas han perdido gran parte de su cobertura forestal original, por lo que presentan un índice de integridad bajo. Esta situación es evidente en las mesetas de Cintalapa y Jiquipilas, los valles de la Frailesca y la planicie costera que va desde Arriaga hasta el río Suchiate. Estas áreas conforman la zona más amplia con valores bajos de integridad.

En cuanto a la distribución de la superficie, el índice de integridad forestal revela una paridad entre las categorías muy alto, alto y medio (mapa 2 y tabla 2), cada una con aproximadamente el 20.7 % del total, lo que representa cerca de 516 mil ha por categoría. El 37 % de la región se encuentra en condición de baja integridad, con 943 mil ha. La interpretación que se puede hacer de estos datos es crucial: si se consideran los dos rangos superiores (muy alto y alto) puede afirmarse que el ADE conserva alrededor de 41 % de su integridad forestal. En sentido contrario, los valores bajos y muy bajos representan cerca del 58 %. No obstante, existe un margen de oportunidad en los valores medios, que en el mapa aparecen predominantemente como áreas de borde en torno a regiones con integridad alta y muy alta. Estas áreas intermedias deberían ser priorizadas estratégicamente, en términos de restauración funcional de los paisajes.

Mapa 2. Integridad forestal del área de estudio.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de GFW, 2020.

Tabla 2. Superficie y distribución porcentual por nivel de integridad forestal en el ADE.

Índice de integridad forestal	Superficie (hectáreas)	Porcentaje
Bajo	943,789.66	37.85
Medio	516,335.53	20.71
Alto	516,604.70	20.72
Muy alto	516,516.90	20.72
Total	2,493,246.79	100

Fuente: elaboración propia con base a datos de GFW, 2020.

Conectividad estructural

Con base en los resultados alcanzados en el análisis de fragmentación, se procedió a hacer el ajuste de compactación, cuyo propósito fundamental es definir un umbral de área vinculante a nivel de la región de estudio. Para ello, se estableció una constante de área mínima de las teselas, mayor a mil ha, ampliando la densidad de la malla utilizada para los procedimientos de FRAGSTATS (McGarigal et al., 2012). Se definió que las capas resultantes serían la base del análisis de conectividad, por lo cual se eliminó la condición de sucesión arbórea y se agruparon las clases de vegetación secundaria con las correspondientes de vegetación primaria. Al analizar la tabla 3,

se observa que la reducción más significativa corresponde al número de teselas, lo cual indica, en principio, que muchos de los fragmentos de vegetación constituyen estructuras de paisaje altamente complejas y específicas.

Los resultados confirman los procesos descritos en el análisis previo de segmentación y fragmentación de borde, como se puede observar en el mapa 2. Estos reflejan una relación directa con el modelo de extracción establecido en el área de estudio (ADE), donde anteriormente había cobertura vegetal. Actualmente, estas zonas han pasado a ser áreas sin vegetación, evidenciando un tránsito de la fragmentación hacia la deforestación y la compactación de las zonas con vegetación relativamente integrada, quedando los bordes como zonas en las que prevalece la fragmentación.

Tabla 3. Comparación de las métricas estándar con la compactación de teselas mayores de 1,000 hectáreas para el área de estudio

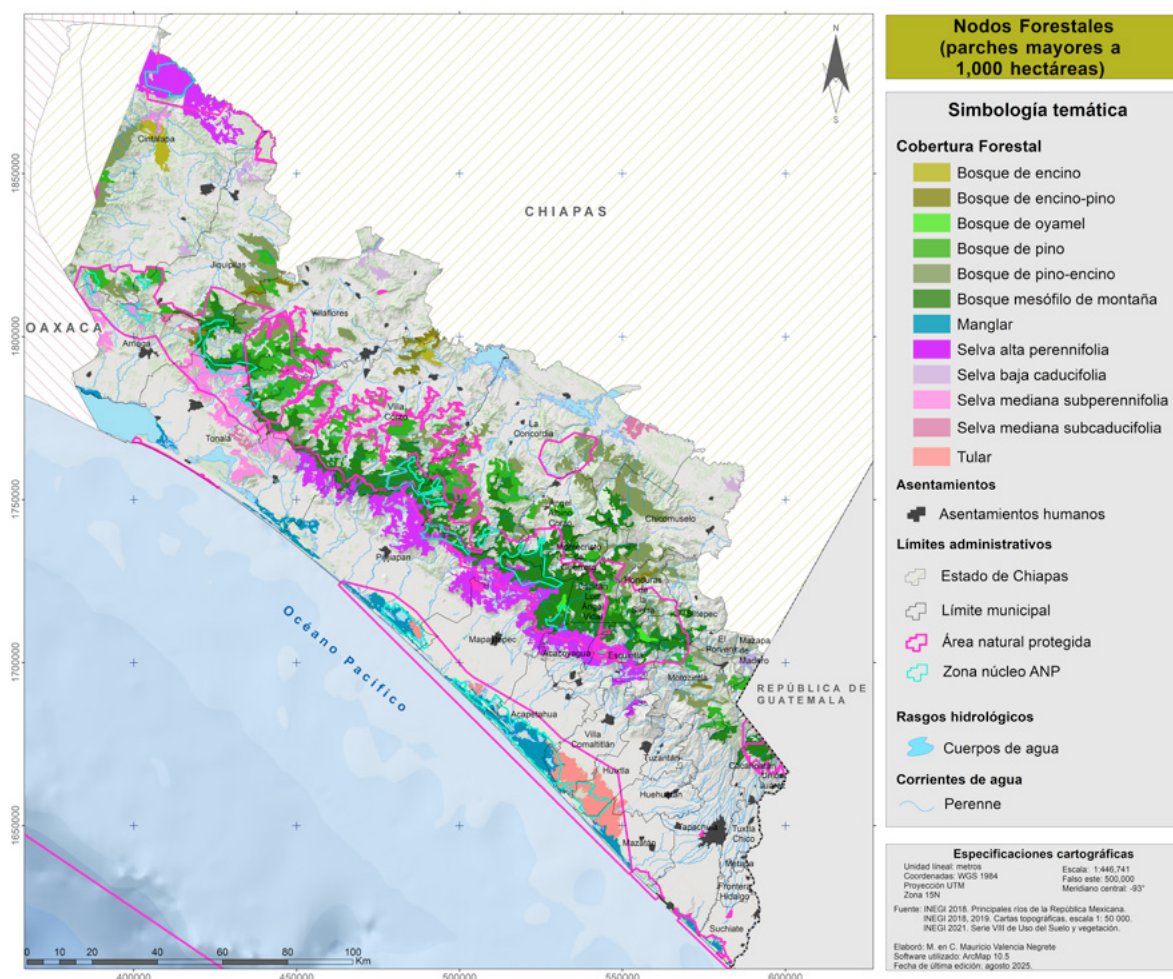
Sierra y Costa de Chiapas	Teselas estándar			Teselas mayores a 1,000 hectáreas		
	NP	SP (ha)	Clases	NP	SP (ha)	Clases
	548	860,245.38	19	150	675,454.85	12

Fuente: elaboración propia.

A primera vista, el mapa 2 muestra dos matrices de paisaje claramente definidas en la parte serrana, tanto en la distribución de las teselas como en las clases de vegetación consideradas: la predominancia del bosque mesófilo de montaña (BMM) y de las selvas altas perennifolias (SAP).

El mapa 3 muestra la distribución del BMM, se sigue un patrón altitudinal en las partes altas de la vertiente de la depresión central, hasta alcanzar los límites biogeográficos propios de este tipo de vegetación. Desde el extremo sur, en los límites de las ANP Pico El Loro y El Triunfo, continuado por La Frailescana y culminado en La Sepultura, se observa una franja continua de BMM, la cual a veces se estrecha o se ensancha. En la vertiente del Pacífico también se presenta una franja de selvas altas y medianas perennifolias, en su mayoría en estado de sucesión secundaria arbórea. Esta franja se extiende desde la Reserva de la Biosfera (RB) El Triunfo y hasta los límites entre el municipio de Pijijiapan y Tonalá, donde cambia a selva mediana subperennifolia hacia la RB La Sepultura. Una porción importante de SAP puede encontrarse también en las proximidades de la RB selva El Ocote, en el municipio de Cintalapa. Los bosques de pino se distribuyen en una franja que sigue a los BMM a través de los corredores formados por los anticlinales, extendiéndose hacia porciones más bajas donde se localizan ahora formaciones mixtas, es decir, bosques de pino-encino y encino-pino, que presentan ya una matriz de tipo mosaico.

Mapa 3. Teselas por clase de vegetación, mayores a 1,000 hectáreas del área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Tomando como referencia la tabla 4, se aprecia que el mayor rango de conectividad lo tienen las teselas clasificadas en la categoría muy alta, con poco más de 521 mil ha y una ruptura máxima de 1,311 metros. Le sigue la categoría alta, que abarca poco más de 252 mil ha, con una Distancia al Vecino más Cercano (DEVK) de 7,857 metros. La categoría media comprende aproximadamente 71 mil ha, con una ruptura de DEVK de hasta 10,853 metros. Finalmente, la categoría baja se limita a 14 mil ha, con una ruptura de DEVK de hasta 26,020 metros. Estos datos confirman que las características propias de los paisajes del área de estudio, junto con las políticas ambientales implementadas, han permitido mantener una alta conectividad en la sierra y otras porciones de la costa con selvas perennifolias. Sin embargo, se observa un proceso creciente de segmentación desde los bordes, lo cual favorece la fragmentación y, en consecuencia, una disminución en la conectividad.

Tabla 4. Rangos de conectividad de teselas mayores de 1,000 ha, por clase de vegetación en la región.

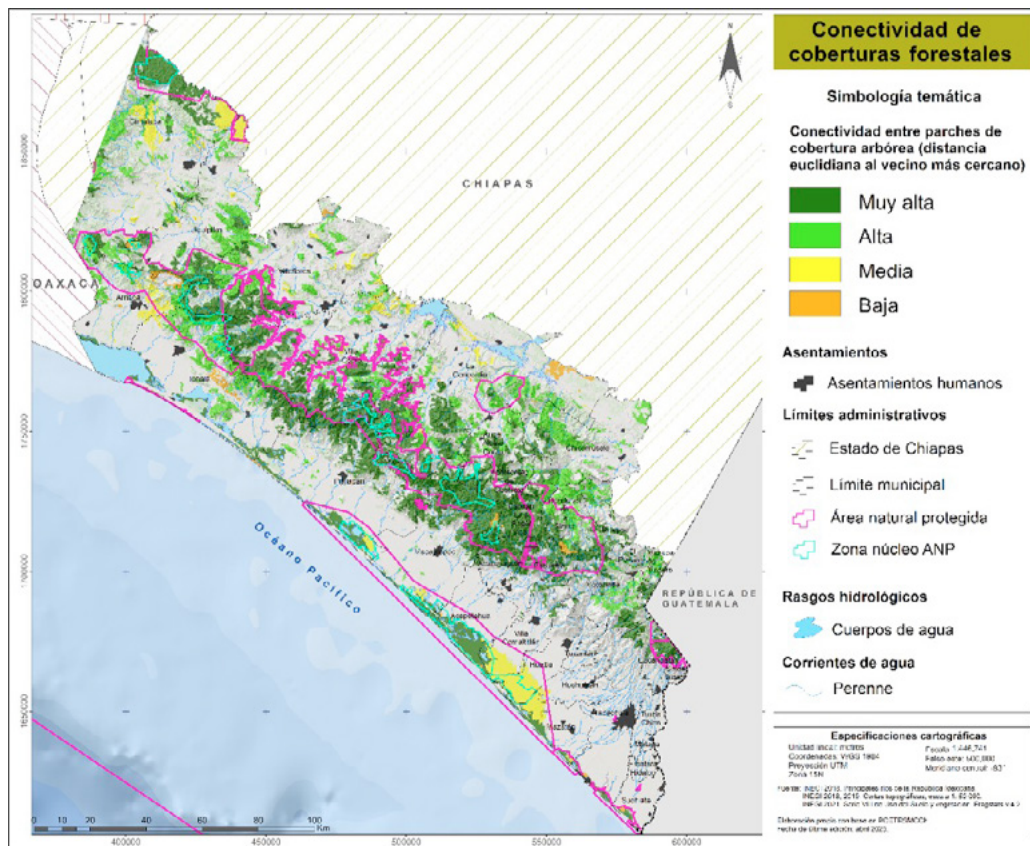
Rango	Superficie (hectáreas)	Rupturas DEVK *(m)
Muy alto	521,376.21	1,311
Alto	252,582.57	7,857
Medio	71,635.23	10,853
Bajo	14,651.37	26,020

Fuente: elaboración propia. *DEVK: distancia euclidiana al vecino más próximo.

El análisis de la distribución territorial resulta evidente en el mapa 3: la sierra presenta una conectividad muy alta, tanto hacia la vertiente de la depresión central como hacia la del Pacífico. Este patrón confirma la efectividad de la política ambiental implementada en la región a partir de la declaración de ANP. La continuidad que se observa entre el cordón conformado por Pico El Loro, El Triunfo, La Frailescana y La Sepultura constituye un ejemplo a nivel nacional del manejo exitoso para la conservación de ecosistemas. De forma más aislada, se identifican dos zonas vinculadas o colindantes con las ANP Volcán Tacaná, La Encrucijada y Selva El Ocote, las cuales comprenden BMM, manglares y SAP.

Por su parte, en las laderas de ambas vertientes serranas de la RB La Sepultura —en las zonas de Honduras de la Sierra, Chicomuselo y La Concordia—, así como en otra porción en Motozintla y Siltepec, y en la franja limítrofe con el estado de Oaxaca, también se identifican áreas con buena conectividad. En condición de conectividad media se encuentran la zona de Cintalapa, la parte alta de Arriaga y algunas porciones dentro de la RB La Encrucijada. Este mapa confirma una de las hipótesis iniciales del estudio: la existencia de avances significativos en la conservación de la Sierra Madre de Chiapas y de algunos paisajes estratégicos —como los que alberga La Encrucijada-, pero también revela una conectividad deficiente en la distribución vertical de los paisajes. Este hallazgo refuerza el análisis de fragmentación, que coloca al ADE en una condición de segmentación, con una fragmentación hacia los bordes. Todo ello subraya la necesidad de desarrollar estrategias que fortalezcan la conectividad vertical, basada en una estrategia territorial a nivel de paisajes y cuencas, que favorezca una matriz de mosaico orientada a una sustentabilidad integrada.

Mapa 4. Conectividad de teselas de más de 1,000 hectáreas por clase de vegetación en el área de estudio.

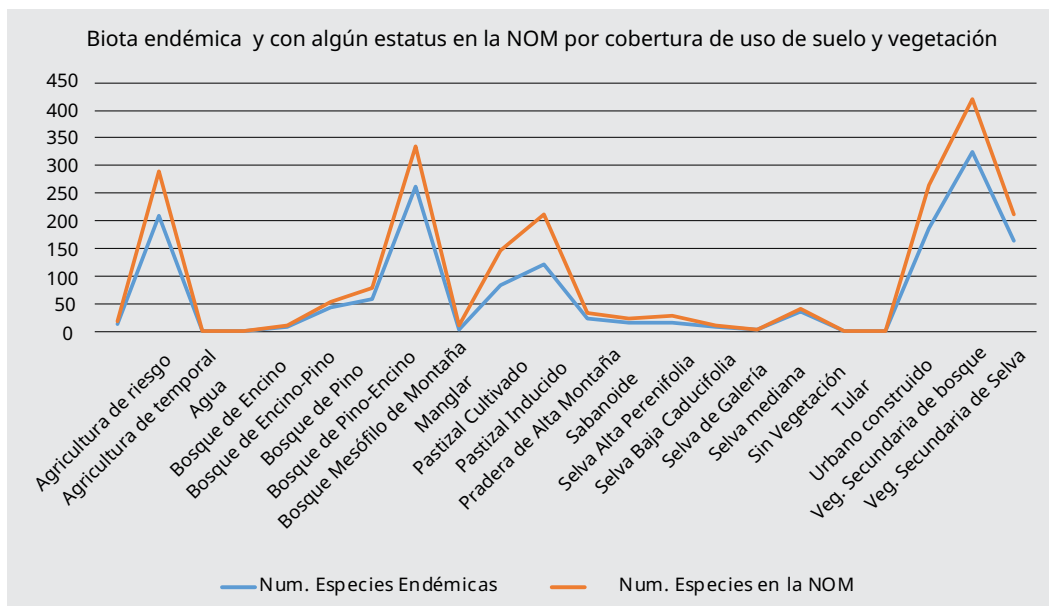


Fuente: elaboración propia.

Importancia de los ecosistemas

Como hallazgo principal, se identificó que, en el ADE, el número de especies endémicas supera en la mayoría de los ecosistemas al número de las especies registradas con algún estatus de protección en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT (ver Figura 2). En la gráfica se observa que, en prácticamente todos los casos, la cantidad de especies endémicas es superior a la de especies incluidas en la NOM-059, lo cual resulta relevante para fines de conservación. Destacan por su alta diversidad los ecosistemas de agricultura de temporal, bosque mesófilo de montaña y vegetación secundaria, donde la diferencia entre especies endémicas y especies con protección oficial es significativa, llegando incluso a superar las 150 especies adicionales en favor del grupo endémico.

Figura 2. Número de especies endémicas y en la NOM-059, por tipos de vegetación y otras coberturas.



Fuente: elaboración propia.

La integración cartográfica de los mapas de tipos de vegetación y otras coberturas —denominadas en su conjunto como ecosistemas— con las bases de datos geospaciales sobre grupos de fauna y flora reportados, permitió clasificar los ecosistemas en distintos niveles de importancia ecológica, considerando tanto la riqueza de especies como su distribución espacial. El análisis muestra que los niveles de muy alta y alta importancia abarcan el 85 % de la superficie total de los ecosistemas (tabla 5), lo que destaca la relevancia biológica de la región. Estos dos niveles concentran, además, el mayor número de ecosistemas con alta riqueza específica.

Tabla 5. Niveles de importancia de los ecosistemas por la riqueza de especies y su distribución.

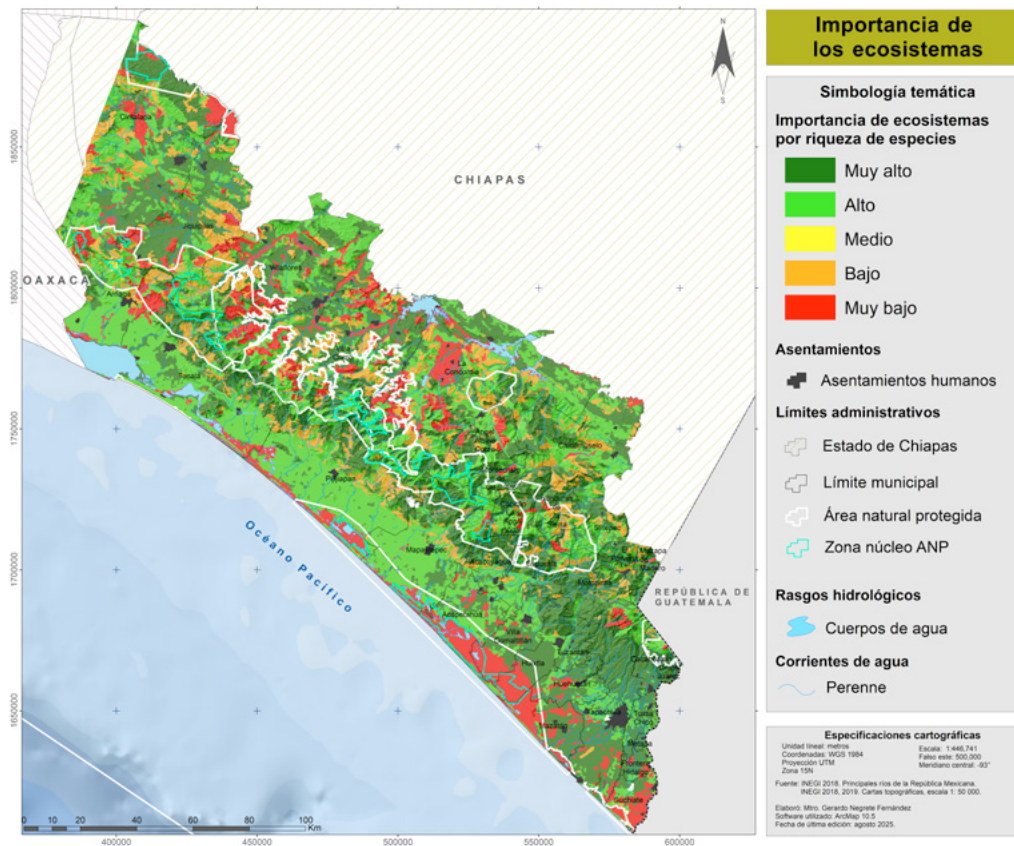
Nivel de importancia	Presencia por número de ecosistemas	Cobertura total (ha) en los ecosistemas	No de ecosistemas con cobertura mayor a 50,000 hectáreas
Muy alto	18	730,676	5
Alto	14	847,232	3
Medio	1	2,845	1
Bajo	3	266,875	2

Fuente: elaboración propia.

Considerando la distribución espacial, los niveles más altos de importancia de los ecosistemas se concentran en tres grandes zonas que abarcan las áreas de mayor extensión en la región (mapa 5). La primera se localiza al norte de Cintalapa, en la parte alta de la región del Istmo; la segunda —y de mayor extensión— corresponde al área del Soconusco, que se extiende desde la región montañosa hacia Motozintla. Una tercera franja

de elevada importancia se desarrolla como un corredor continuo a lo largo de las serranías, y está rodeada por áreas clasificadas con niveles altos de importancia, tanto en las zonas altas como en la parte baja de los valles. En contraste, la categoría de importancia baja se encuentra distribuida principalmente en fragmentos dispersos a lo largo de la planicie costera y en sectores de la parte central de la montaña. El nivel medio de importancia es el menos representado en la región, con una cobertura inferior a 2,000 ha, localizada principalmente en la zona del Istmo-Costa, en las proximidades de Arriaga, y en el Soconusco, cerca de Frontera Comalapa.

Mapa 5. Niveles de importancia de los ecosistemas en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Susceptibilidad de los ecosistemas.

La susceptibilidad se obtuvo del análisis de rangos de precipitación, temperatura, corrientes de agua perennes y disección vertical. La amplitud de distribución de cada categoría de uso de suelo y vegetación (USV) en los diferentes parámetros se trabajó estadísticamente, para estandarizar y normalizar los resultados y así obtener los niveles de susceptibilidad en los cinco niveles (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo).

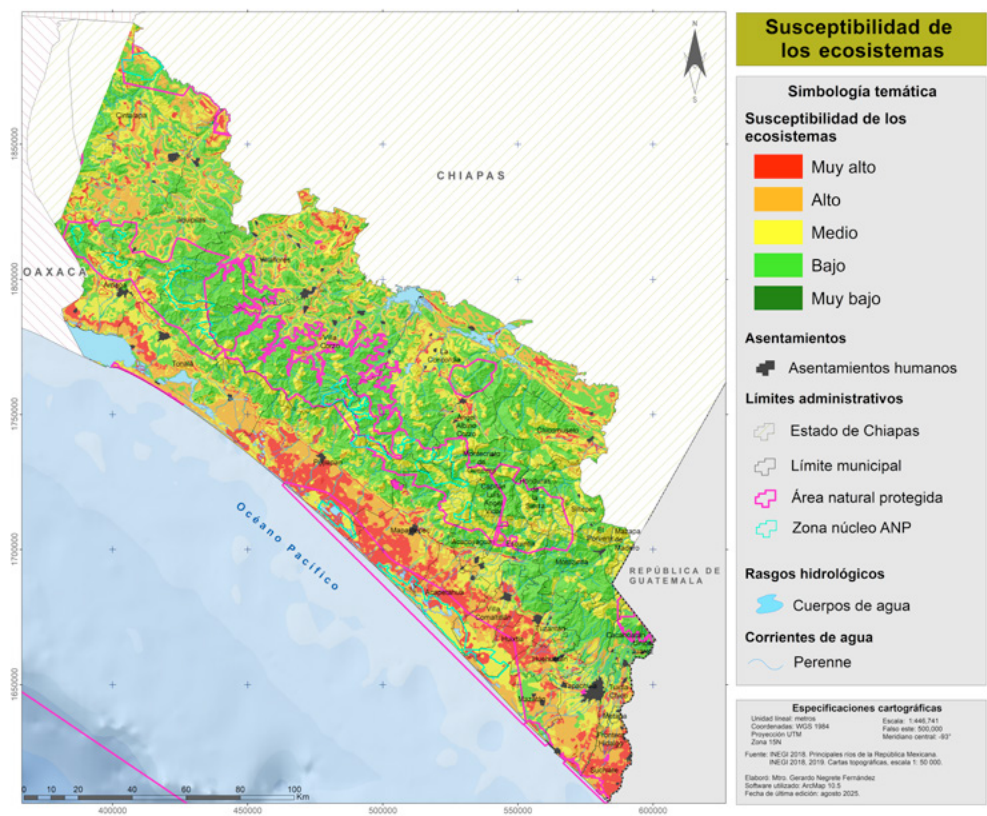
Tabla 6. Amplitud de parámetros analizados para obtener la distribución de los ecosistemas a partir de los parámetros físicos climáticos y de relieve.

Rangos de distribución de los ecosistemas				
Rangos de precipitación (mm)	Rangos de temperatura (oC)	Rangos de numero de ríos perenes	Rangos de disección vertical	Niveles
600-800	Uno de los tres (Mayor a 22 y mayor a 18 o Mayor a 18 y menor a 18 o Entre12 y 18 y entre -3 y 18)	32-39	Fuerte (mayor a 15°)	Muy alto
800-1200	Mayor a 22 y mayor a 18; Mayor a 18 y menor a 18;	24-31	Media (4 a 15°)	Alto
1200-1500	Mayor a 18 y menor a 18; Entre12 y 18 y entre -3 y 18	16-23	Media (4 a 15°)	Medio
1500-2000	Los tres rangos (Mayor a 22 y mayor a 18; Mayor a 18 y menor a 18; Entre12 y 18 y entre -3 y 18)	8-15	Ligera (0 a 3°)	Bajo
2000-más de 4000	-	0-7	-	Muy bajo

Fuente: elaboración propia.

La distribución muestra un dominio de susceptibilidad baja en casi toda el área de estudio (mapa 6); sin embargo, destaca la planicie costera, por estar dominada por niveles de susceptibilidad alto y muy alto. Hacia la región Istmo-costa existe una presencia dominante de niveles medios y altos, lo mismo que en áreas extensas de la parte más alta de la montaña.

Mapa 6. Niveles de susceptibilidad de los ecosistemas en el área de estudio.



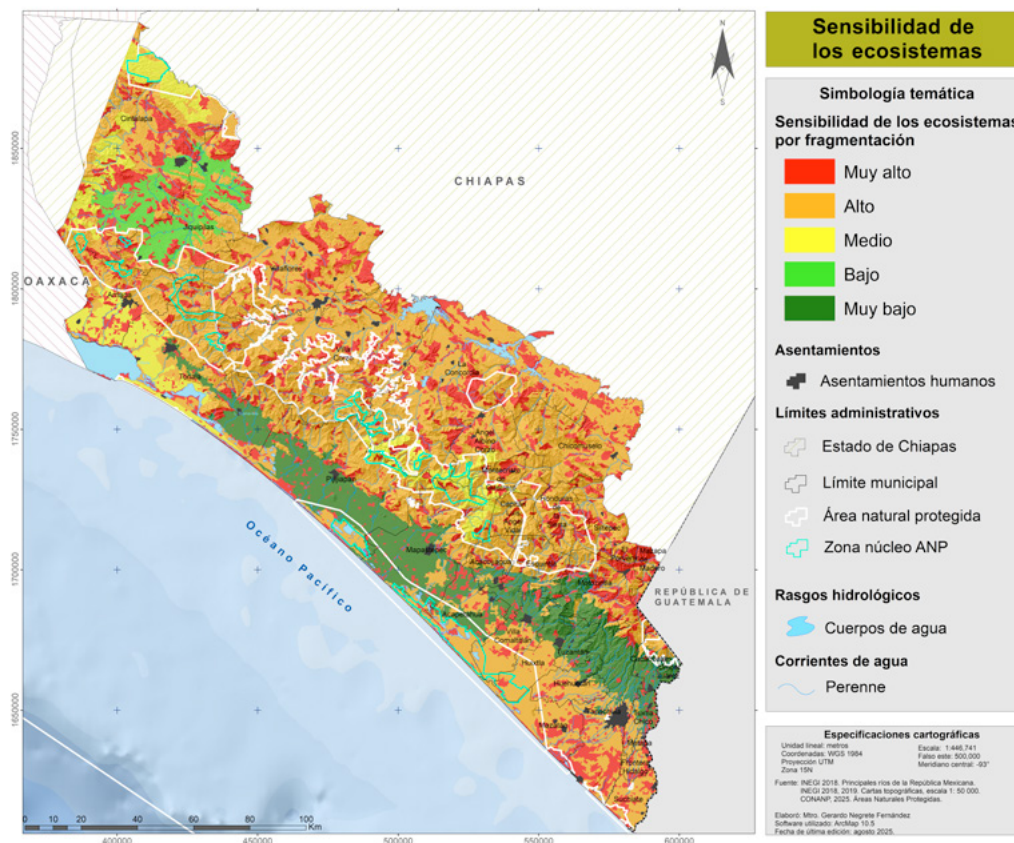
Fuente: elaboración propia.

La sensibilidad de los ecosistemas (mapa 7) definida por la fragmentación con base en el tamaño de las teselas de las categorías de USV muestran que, a mayor tamaño del fragmento, menor sensibilidad a las perturbaciones (Laurance, et al, op.cit). La categorización por niveles de sensibilidad indica que, en los niveles alto y muy alto, los fragmentos se encuentran cercanos al límite de tolerancia a las perturbaciones, lo que constituye una señal de alerta para la formulación de estrategias y acciones orientadas a la conservación y rehabilitación, tanto a corto como a mediano plazo.

A nivel regional, se presentan de manera dispersa fragmentos con niveles altos y muy altos de sensibilidad de los ecosistemas. En el nivel muy alto se identificaron 2,527 fragmentos, que en conjunto abarcan 558,609.53 ha. En el nivel alto, aunque el número de fragmentos se reduce a 397, la cobertura total aumenta a 1,344,345.38 ha.

En el nivel medio se localizan tres fragmentos distribuidos en el área de la Frailesca y la Sepultura, y uno adicional en la región de El Triunfo; en conjunto suman una extensión de 174,393.94 ha. En el nivel bajo se identificó un solo fragmento con un área de 84,923.34 ha. Finalmente, en el nivel muy bajo se registraron dos fragmentos que cubren una amplia extensión, desde la zona serrana hasta la región costera, con una superficie total de 304,497.47 ha.

Mapa 7. Niveles de sensibilidad de los ecosistemas en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Peligrosidad

Es importante señalar que el ADE está catalogada como zona de riesgo, debido a la alta incidencia de fenómenos como huracanes y sismos, los cuales presentan un elevado potencial destructivo. Por esta razón, los resultados arrojan los tres niveles más altos de peligrosidad.

El área clasificada con peligrosidad muy alta afecta a 18 ecosistemas, que en conjunto suman 65,543 ha, siendo el nivel con menor extensión de los tres. Dentro de esta categoría, destacan dos ecosistemas por su cobertura: la agricultura de temporal permanente, con 42,167 ha, y el pastizal cultivado, con 5,851 ha (mapa 8).

El nivel de peligrosidad alta abarca una superficie de 438,156 ha. En este nivel, destacan 11 ecosistemas que superan las 10,000 ha cada uno, sumando en conjunto 204,253 ha.

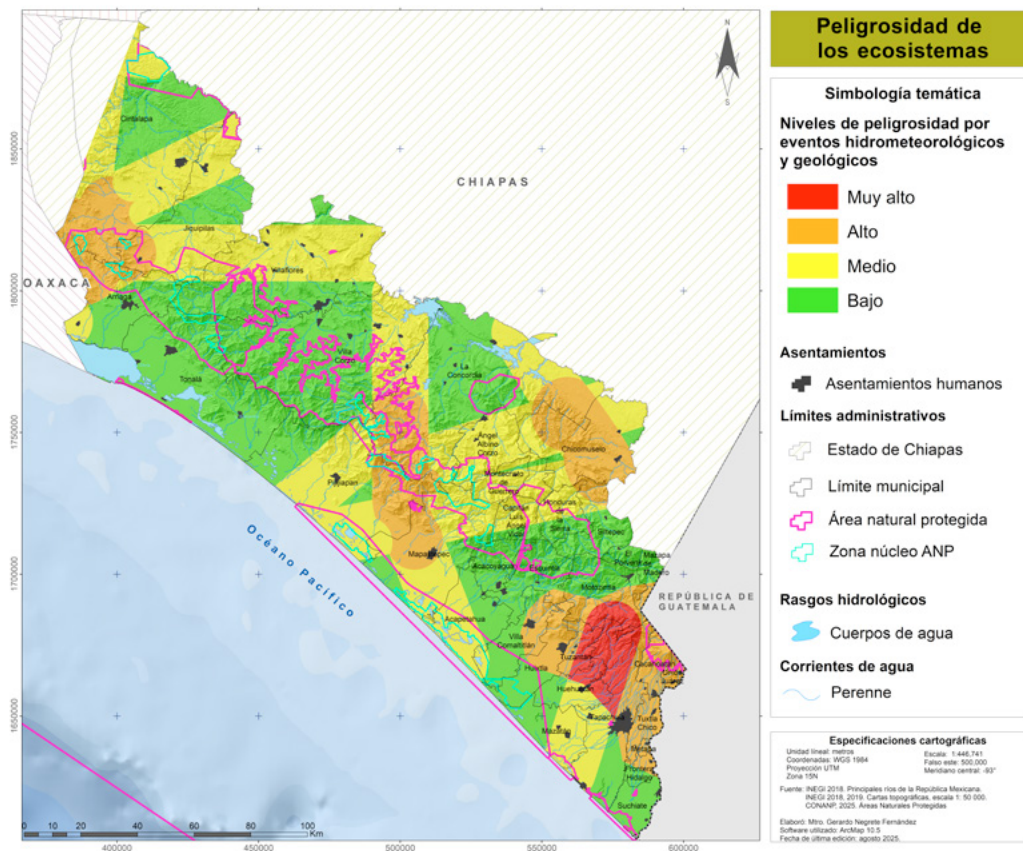
Por su parte, el nivel de peligrosidad media cubre una extensión de 1,203,526 ha, donde se identifican 24 ecosistemas con superficies que oscilan entre 10,000 y 60,000 ha.

La magnitud de los eventos asociados a tormentas tropicales y huracanes abarca la totalidad del ADE. Particularmente, la región del Soconusco —en el área influenciada por el volcán Tacaná— con un nivel de peligrosidad muy alto, además alberga ecosistemas de alta relevancia, lo que refuerza la necesidad de aplicar estrategias y criterios de conservación y uso sustentable específicos para su protección.

Las áreas con alta peligrosidad por huracanes se ubican en cuatro zonas claramente diferenciadas. Las dos primeras se localizan en el centro del ADE: una en la zona serrana y parte de la región montañosa, y otra en la montaña propiamente dicha, principalmente en el municipio de Chicomuselo. Las otras dos se ubican en los extremos del ADE: una en la región Istmo-Costa y la otra en el Soconusco, donde se concentra el área de muy alta peligrosidad.

El nivel medio de peligrosidad, asociado a trayectorias específicas de huracanes, se manifiesta en nueve zonas. Tres de estas se encuentran en la región Istmo-Costa, mientras que las demás se localizan en la parte sureste, en una franja que se extiende desde el municipio de Pijijiapan hasta Suchiate.

Mapa 8. Niveles de peligrosidad en áreas con eventos hidrometeorológicos y geológicos en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

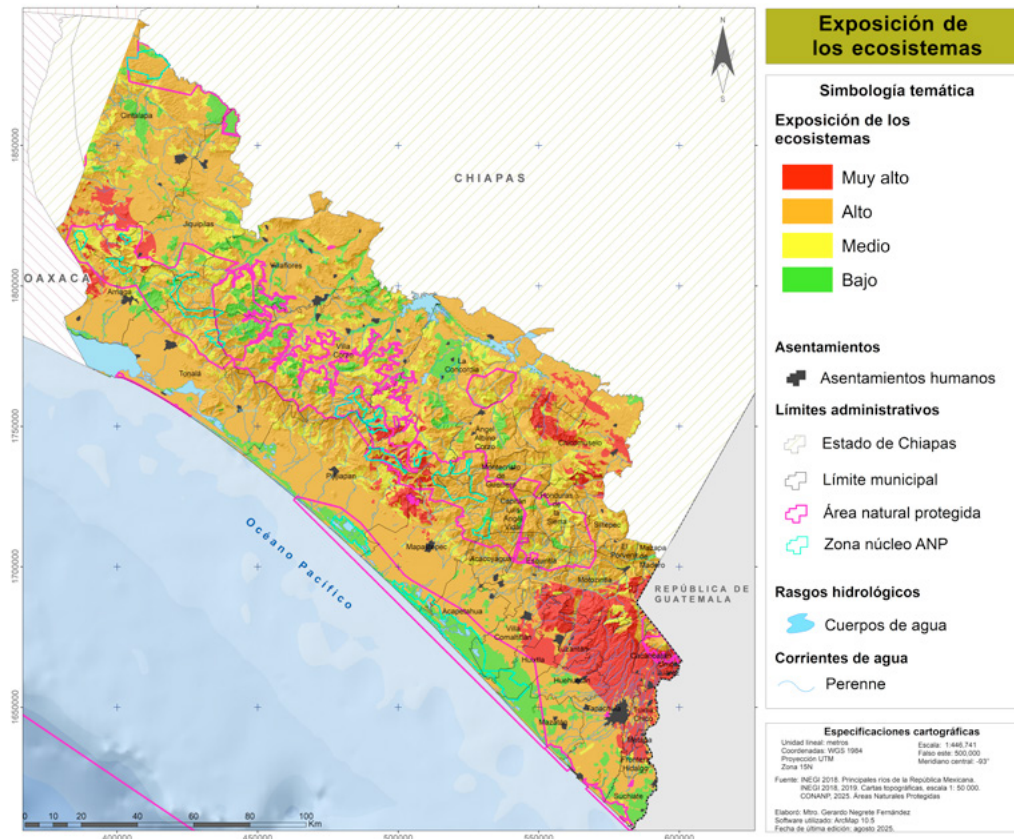
Exposición

La exposición integra los resultados obtenidos en los temas de importancia ecológica, susceptibilidad y peligrosidad.

La duración o extensión en la que un sistema está expuesto o sujeto a una perturbación define la exposición (De Chazal et al., 2008). Para su determinación, se superpusieron los mapas de sensibilidad y susceptibilidad, y se aplicaron análisis multicriterio para establecer los rangos de exposición.

Los niveles de exposición más bajos se ubican en corredores montañosos, asociados con fragmentos de nivel medio, en dirección hacia la región Istmo-Costa. En la planicie costera, se extiende una franja paralela a la línea del litoral con niveles de baja exposición, al igual que una porción contigua a la frontera con Guatemala, en zonas adyacentes al volcán Tacaná. Los niveles de exposición más alta se ubican hacia la región del Soconusco y la zona de influencia del volcán Tacaná (mapa 9).

Mapa 9. Exposición de ecosistemas por fenómenos hidrometeorológicos y geológicos en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Vulnerabilidad

Una vez obtenidos los niveles de sensibilidad, susceptibilidad, peligrosidad y exposición, y tras aplicar el análisis de componentes principales, fue posible determinar la vulnerabilidad.

En el total de la superficie del ADE, la distribución territorial de la vulnerabilidad indica que el nivel muy alto ocupa el 30 %, el nivel alto el 32 % y el nivel medio 38 %. En contraste, el nivel bajo presenta una cobertura inferior al 1 % (mapa 10).

En las áreas con vulnerabilidad muy alta, destacan 3 agroecosistemas: pastizal cultivado, agricultura de temporal anual y agricultura de temporal permanente, los cuales en conjunto abarcan el 54 % del ADE. En las zonas con vulnerabilidad alta también sobresalen tres ecosistemas: vegetación secundaria arbórea de bosque de pino, pastizal cultivado y selva mediana subperennifolia, que en conjunto representan el 65 % de la superficie correspondiente a este nivel.

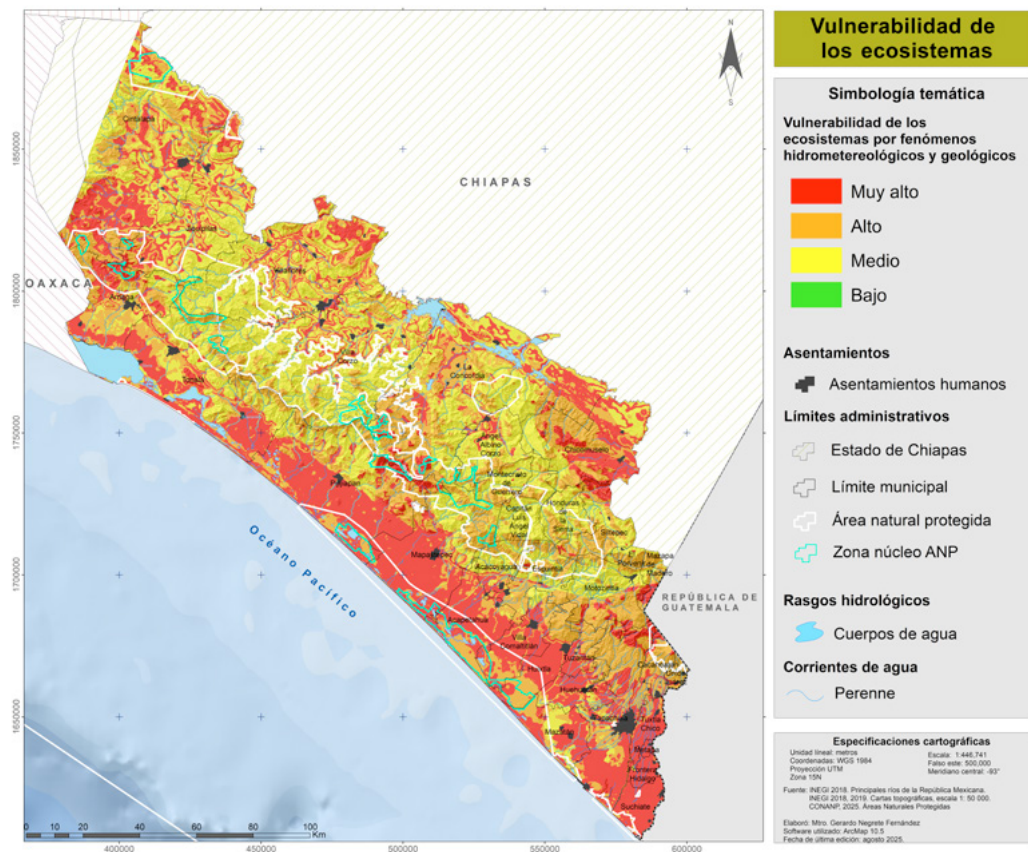
Para el nivel medio de vulnerabilidad destacan siete ecosistemas: pastizal inducido, agricultura de temporal, vegetación secundaria arbórea, selva alta perennifolia, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino y bosque de pino-encino, los cuales en conjunto representan un 42 % de cobertura en este nivel. Para el nivel bajo,

solo se registra un ecosistema: bosque de encino-pino, con una extensión de 229 ha (menos del 1 %). No se cuenta con datos para el nivel de vulnerabilidad muy bajo.

En términos generales, la vulnerabilidad muestra patrones espaciales bien definidos, evidenciado en la formación de corredores. Destaca un extenso corredor en la región Sierra-Costa, que asciende desde la planicie hacia la Frailesca, entre Cintalapa y Jiquipilas. En la porción sureste, otro corredor se extiende hacia las regiones del Soconusco y Tacaná. En la sierra se identifican pequeños corredores que descienden desde las partes altas hacia las zonas medias, siguiendo la dirección de la pendiente. Asimismo, se presentan importantes macizos de alta vulnerabilidad en áreas como Chicomuselo, La Concordia, La Frailesca y la zona donde se ubica el ANP La Sepultura, conformando un corredor en la región alta.

Los resultados indican que la zona de planicie, y en particular la costa, requiere mayor atención e intervención preventiva, ya que es donde se concentra el nivel más alto de vulnerabilidad. Esta misma condición aplica para algunas partes más altas de la montaña.

Mapa 10. Niveles de vulnerabilidad de los ecosistemas por fenómenos hidrometeorológicos y geológicos en el área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Integración de conectividad y vulnerabilidad

Con base en la metodología de trabajo establecida en el presente estudio, se identificaron Nodos de Importancia para la Conservación (NIC), los cuales corresponden tanto a las zonas núcleo de las RB en el ADE como a las zonas consideradas de conservación según los programas de manejo de las ANP. Asimismo, se incluyeron áreas forestales que, aunque no cuenten con una declaratoria federal como ANP presentan relevancia para la conservación. Para la aplicación de Linkage Mapper v2.0, 2017, se utilizaron en total 17 polígonos como NIC (tabla 7). Estos nodos se localizan en mapas de teselas con un mínimo de 1,000 ha por clase de vegetación. En una primera etapa, se construyó una capa de resistencia o aptitud del paisaje, que representa la dificultad relativa que distintas coberturas del territorio suponen para el desplazamiento de la fauna silvestre. Esta capa fue generada utilizando la herramienta Gnarly Landscape Utilities (Conde & Shah, 2017), desarrollada por el proyecto Circuitscape, la cual permite preparar y transformar insumos espaciales en mapas de resistencia compatibles con modelos de conectividad ecológica.

Posteriormente, se empleó el módulo Linkage Pathways, incluido en la caja de herramientas Linkage Mapper v2.0 (Linkage Mapper, 2017), para delinear corredores potenciales entre las zonas núcleo previamente definidas. Esta herramienta identifica las rutas de menor costo acumulado entre pares de núcleos, utilizando como base el mapa de resistencia generado previamente. La versión utilizada fue la publicada en octubre de 2017, descargada desde la plataforma oficial de Linkage Mapper.

En el análisis se incorporaron los siguientes criterios de fricción: altitud, pendiente, clase de cobertura arbórea, tipos de uso del suelo, presencia del Programa de Servicios Ambientales (PSA) de la CONAFOR (periodo 2017-2020), presencia de plantaciones de palma de aceite, Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC), red vial y concesiones mineras.

Tabla 7. Nodos de Importancia para la Conservación en el área de estudio.

ID	Nombre del Área Natural Protegida	Nodo de Importancia para la Conservación (NIC)
1	Selva El Ocote	Zona núcleo I
2	Selva El Ocote	Zona núcleo II
3	La Sepultura	Cuenca del Arenal
4	La Sepultura	San Cristóbal
5	La Sepultura	La Palmita
6	La Sepultura	Tres Picos
7	La Sepultura	La Bola
8	El Triunfo	Zona núcleo I El Triunfo
9	La Encrucijada	El Palmarcito
10	El Triunfo	Zona núcleo II Ovando
11	La Encrucijada	La Encrucijada
12	El Triunfo	Zona núcleo V La Angostura
13	El Triunfo	Zona núcleo IV El Venado
14	El Triunfo	Zona núcleo III Cuxtepec
15	Volcán Tacaná	Zona de conservación
16	La Frailescana	Zona de conservación
17	Zona limítrofe con Oaxaca	Polígono forestal

Fuente: elaboración propia.

La aplicación identificó 41 corredores con una distancia total de 2,334 km lineales, lo que indica que existe una posibilidad real de conexión entre la mayoría de los NIC. Los corredores de mayor longitud son los que conectan la RB Selva El Ocote con La Sepultura y El Triunfo, alcanzando una extensión máxima de 285 km. También destaca el corredor que vincula La Encrucijada con el Volcán Tacaná, con una longitud de 124 km. La zona núcleo de El Triunfo resulta ser el NIC con mayor grado de conectividad. La distancia de los corredores desempeña un papel crucial en su viabilidad estructural. De acuerdo con los resultados, en la mayoría de los casos, los corredores funcionan como vínculos estructurales activos. Sobresale la continuidad de corredores que interconectan todos los NIC desde el Volcán Tacaná hasta la RB Selva El Ocote. Asimismo, se identificaron siete corredores que enlazan las dos zonas núcleo de la RB La Encrucijada con distintas ANP ubicadas en la región de la Sierra. Es recomendable realizar un análisis más detallado de la conectividad en sentido vertical, hacia la vertiente de la Depresión Central, donde actualmente no se identifican NIC de referencia. Para ello se hará el análisis a escala de núcleos agrarios.

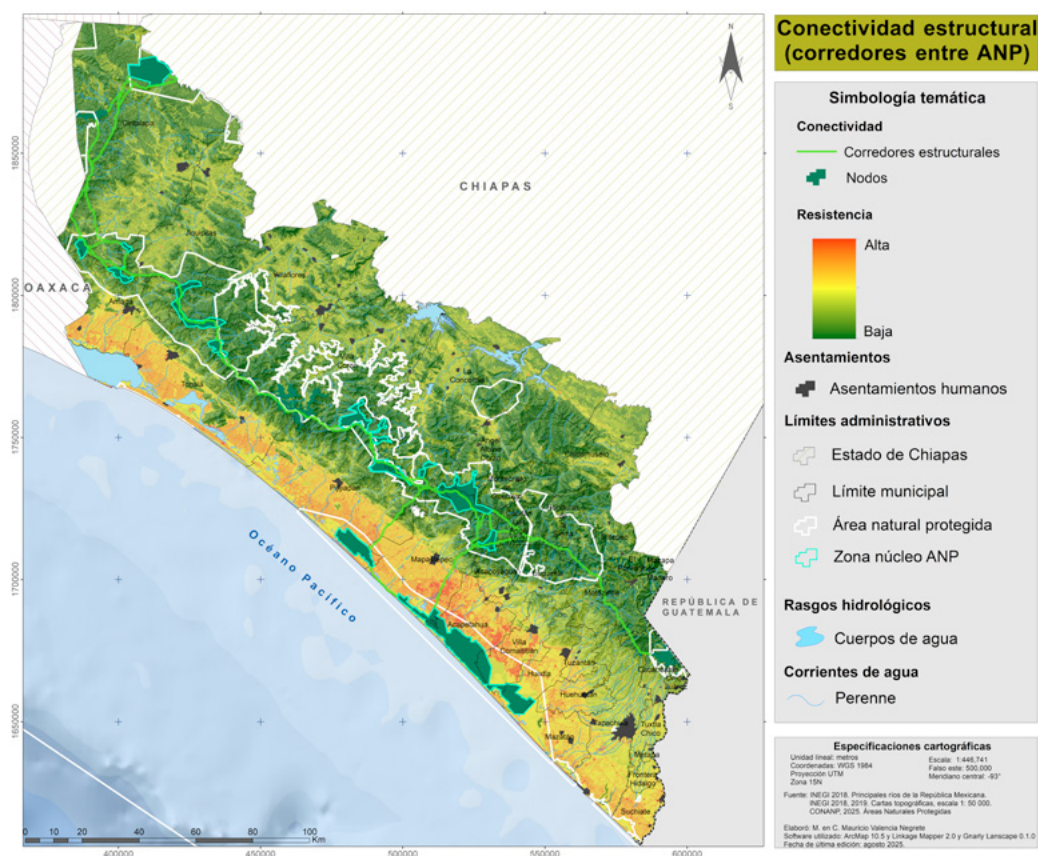
Tabla 8. Interconexión de los Nodos de Importancia para la Conservación en el área de estudio.

Del NIC	Al NIC	Distancia (Km)	Del NIC	Al NIC	Distancia (Km)
1	2	3.38	8	9	37.04
1	4	93.69	8	10	6.40
1	6	130.70	8	11	43.51
1	8	285.01	8	12	35.42
1	12	231.75	8	13	10.61
1	16	194.60	8	14	7.96
1	17	35.43	8	15	92.37
2	4	77.51	9	11	14.91
2	6	114.52	9	12	59.54
2	17	16.46	9	13	34.72
3	4	13.34	9	16	89.18
3	5	10.71	10	11	30.88
3	17	50.60	10	15	88.06
4	5	5.18	11	13	73.77
4	6	29.51	11	15	124.57
4	17	57.67	12	13	6.16
5	6	19.09	12	14	27.48
6	7	5.12	12	16	11.81
6	12	71.57	13	14	3.99
6	16	34.41	13	16	35.81
7	16	20.51		Total	2,334.96

Fuente: elaboración propia.

En relación con la resistencia o fricción del territorio, el mapa 11 muestra varias zonas diferenciadas. En principio, toda la región serrana presenta una baja resistencia, lo que amplía significativamente la posibilidad de establecer corredores, situación que se confirma con los análisis de fragmentación y conectividad realizados. Esta región se extiende desde el complejo volcánico del Tacaná hasta el cañón de Motozintla, incluyendo toda la zona de mayor altitud que abarca los municipios de Mazapa, El Porvenir, Honduras de la Sierra, Siltepec, Capitán Luis A. Vidal, Montecristo de Guerrero y Chicomuselo. A partir de ahí, se conforma un amplio macizo que incluye Acacoyagua, Escuintla, Ángel Albino Corzo y las partes más elevadas de Mapastepec, Pijijiapan y La Concordia. Hacia el norte, también se localizan extensas zonas serranas en Villaflores, Villa Corzo, Tonalá y Arriaga, donde culmina esta gran área de baja resistencia. Existe una extensión de esta zona que conecta la Sierra con la parte más occidental del ADE, primero hacia los ecosistemas ubicados en los límites con Oaxaca y, posteriormente, con las cadenas montañosas asociadas a otra orogenia, en dirección a la región de la Selva El Ocote. Las mesetas y planicies que se extienden hacia la región de Cintalapa-Jiquipilas, y posteriormente hacia Villaflores-La Concordia culminan en las porciones bajas del municipio de Chicomuselo, con una valoración de resistencia media, al igual que el gran lahar que desciende desde el Volcán Tacaná. Por otro lado, la franja costera representa una ruptura significativa en la conectividad, debido a su fricción muy alta. A pesar de ello, se identifican algunos corredores relevantes. Entre ellos destacan: uno que se deriva de las formas residuales que conectan la Sierra con el sistema lagunar La Joya-Buenavista (uno de los sistemas de mayor productividad primaria, aunque también con un incremento en las actividades antrópicas); otro que conecta el sistema lagunar Carretas-Pereyra, y un tercero que enlaza con el sistema Chantuto-Panzacola. El método empleado no detectó conectividad hacia los otros cuatro sistemas lagunares presentes en la región.

Mapa 11. Corredores entre NIC de la región Sierra y Costa de Chiapas.

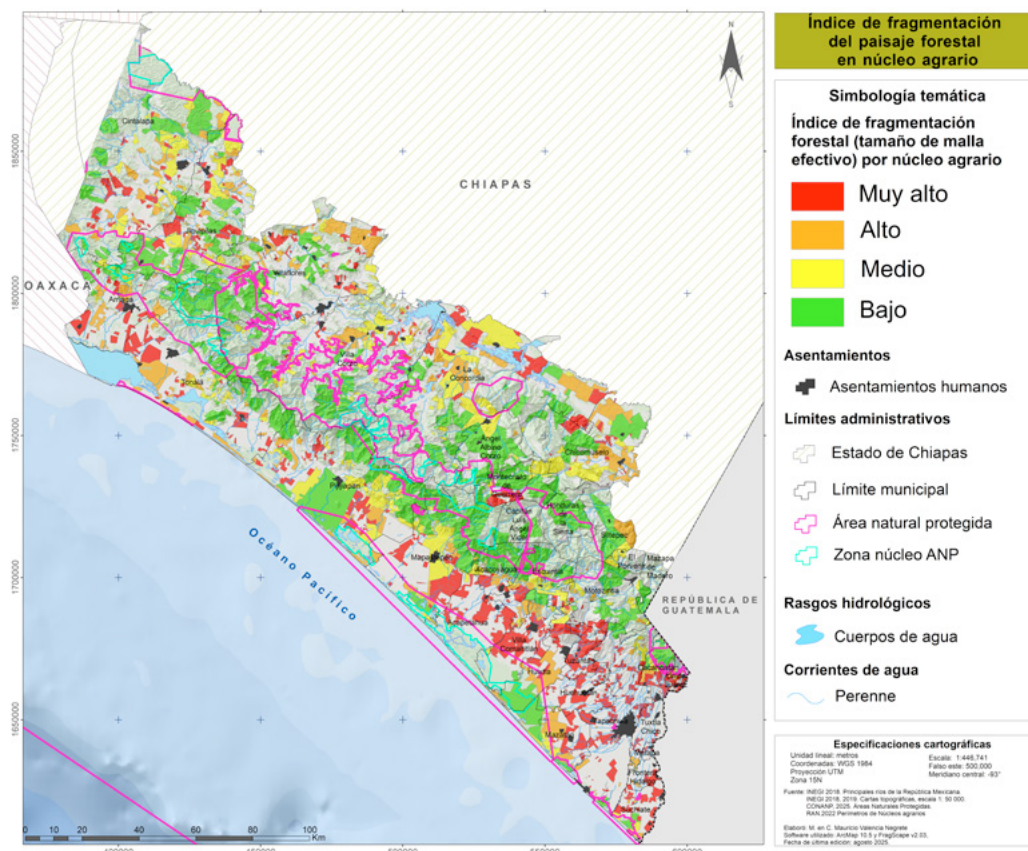


Fuente: elaboración propia.

La costa de Chiapas se extiende a lo largo de 325 km, con una planicie cuya amplitud varía entre 19 y 47 km. En esta vertiente desembocan 42 ríos distribuidos en 19 subcuencas; de ellos, 31 presentan caudal perenne y 11 pierden su flujo durante el estiaje. Es importante señalar, para fines de conectividad, que en los primeros kilómetros de sus cauces principales estas subcuencas presentan cursos angostos y sinuosos, con pequeñas caídas de agua, incorporación de afluentes y una disminución de la pendiente conforme se acercan a la costa. Hasta la década de 1970, estas características daban lugar a extensos meandros que generaban una gran cantidad de humedales. Entre 1980 y 1995, la creciente demanda de nuevas áreas agrícolas provocó la modificación del cauce de varios ríos, entre ellos el Cintalapa, Vado Ancho, Despoblado, Huixtla, Cuilco, Coatán, Cahoacán y Suchiate. Posteriormente, tras los huracanes Javier (septiembre de 1998) y Stan (octubre de 2005), se llevó a cabo la rectificación de un total de 28 ríos. Esta intervención causó impactos significativos en la morfología de los cauces medio y bajo, lo que derivó en una disminución del volumen hídrico en las lagunas costeras, así como en cambios batimétricos debido al azolvamiento (Gómez et al., 2019). La conectividad hacia esta región evidencia una tensión territorial no solo en términos paisajísticos, sino también sociales y económicos.

Siguiendo el método para valorar la conectividad funcional, y aplicando una máscara para excluir ciertos elementos del paisaje evaluados, se realizó un análisis por tamaño de malla efectivo por núcleo agrario (Mapa 12). Los resultados, representados en el mapa 10, muestran que existe un gran número de núcleos agrarios con dimensiones menores a 1,000 ha clasificados en la categoría de muy alta fragmentación, conforme a los parámetros utilizados. A continuación, se encuentra la categoría alta, que abarca una superficie de 161 mil ha y comprende 258 núcleos agrarios. La categoría media incluye 255 ejidos y bienes comunales, con una superficie total de 193 mil ha. Finalmente, la categoría baja presenta el mismo número de núcleos agrarios, pero con una superficie significativamente mayor: 458 mil ha. Estos resultados evidencian un potencial estratégico para el manejo sustentable del paisaje en el ADE. Representan, además, un paradigma territorial de gran relevancia, con capacidad para ampliar el alcance de la política ambiental regional —tradicionalmente centrada en las ANP—, hacia esquemas alternativos de manejo efectivo del paisaje (OMME). En estos esquemas, los actores sociales, titulares del territorio, deben ocupar un papel central en la construcción de una gobernanza ambiental participativa, en articulación con las instituciones gubernamentales, académicas y otros socios locales.

Mapa 12. Índice de fragmentación: tamaño de malla efectivo por núcleo agrario para el área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

La coincidencia de los núcleos agrarios con niveles de fragmentación media y alta y los corredores que conectan los NIC permite identificar corredores de sustentabilidad. Estos corredores pueden entenderse como paisajes estratégicos para la planeación socioambiental, con una profunda raíz territorial, ecológica y biocultural. En primer lugar, se constituyen como áreas diversas que mantienen su integridad a través de redes internas de procesos de gobernanza ambiental, sostenidas por trayectorias de largo plazo. En segundo lugar, estos corredores están vinculados con la red de ANP presentes en el ADE, que en muchos casos operan como una cadena de conservación. Esta red ha fortalecido dos franjas: la serrana y la litoral, lo cual subraya la necesidad de ampliar la cooperación socioambiental hacia territorios que se encuentran fuera de los límites formales de dichas ANP. En tercer lugar, estos corredores representan una forma de reconocimiento y respeto a los saberes locales, en manos de los pueblos y comunidades originarias y equiparables. Son, en muchos casos, estos conocimientos los que han permitido que los paisajes conserven sus funciones ambientales y su capacidad de provisión de servicios ambientales. Esto se ha logrado a través de la aplicación de soluciones basadas en las comunidades y soluciones basadas en la naturaleza, ambas con un carácter biocultural fundamental.

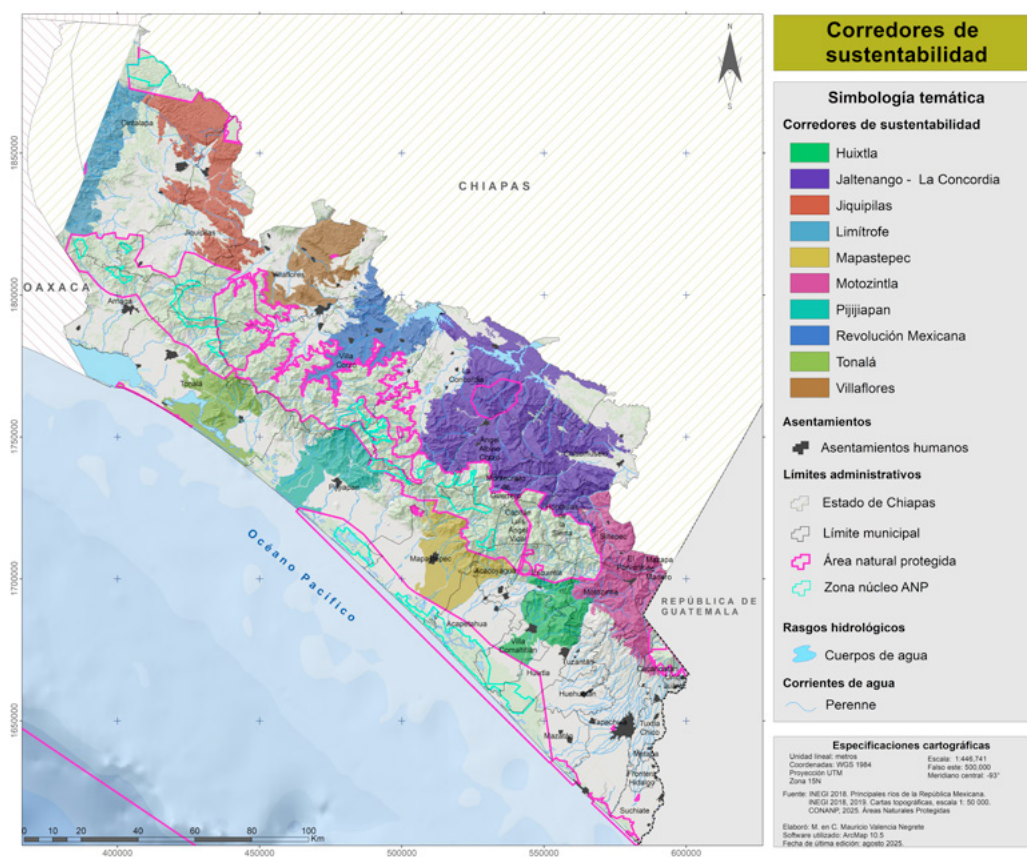
A partir de lo anterior, es posible plantear una primera propuesta de manejo estructural de los paisajes en el ADE, basada en el mantenimiento e incremento de la conectividad actual mediante la implementación de corredores con una matriz de mosaico. Estos corredores permitirán conexiones ecosistémicas con los NIC identificados; asimismo, facilitarán la articulación geohidrológica a través del sistema de subcuenca existente, y fortalecerán el enfoque socioambiental al considerar los núcleos agrarios como actores sociales centrales en la toma de decisiones territoriales.

Se han identificado diez corredores de sustentabilidad. Estos corredores contribuyen a asegurar la estructura y funcionalidad de los paisajes del ADE, y, junto con la superficie de las ANP, conforman una estrategia integral de cooperación territorial.

Para el ADE, los corredores de sustentabilidad propuestos son (mapa 13):

- Huixtla: establece conexión con la RB La Encrucijada.
- Jaltenango-La Concordia: vincula la RB El Triunfo con las ANP Estatales Pico El Loro Paxtal y La Concordia-Zaragoza
- Jiquipilas: conecta las RB La Sepultura con la RB Selva El Ocote.
- Limitrofe: articula la RB La Sepultura, hacia el norte, con el estado de Oaxaca.
- Mapastepec: enlaza las RB La Encrucijada y El Triunfo.
- Motozintla: conecta con el ANP Estatal Pico El Loro Paxtal y la RB Volcán Tacaná.
- Pijijiapan: establece conexión con la RB La Encrucijada y con el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) La Frailescana.
- Revolución mexicana: vincula con el APFF La Frailescana.
- Tonalá: conecta la RB La Sepultura con el APFF La Frailescana.
- Villaflores: establece conexión con la RB La Sepultura.

Mapa 13. Corredores de sustentabilidad para el área de estudio.



Fuente: elaboración propia.

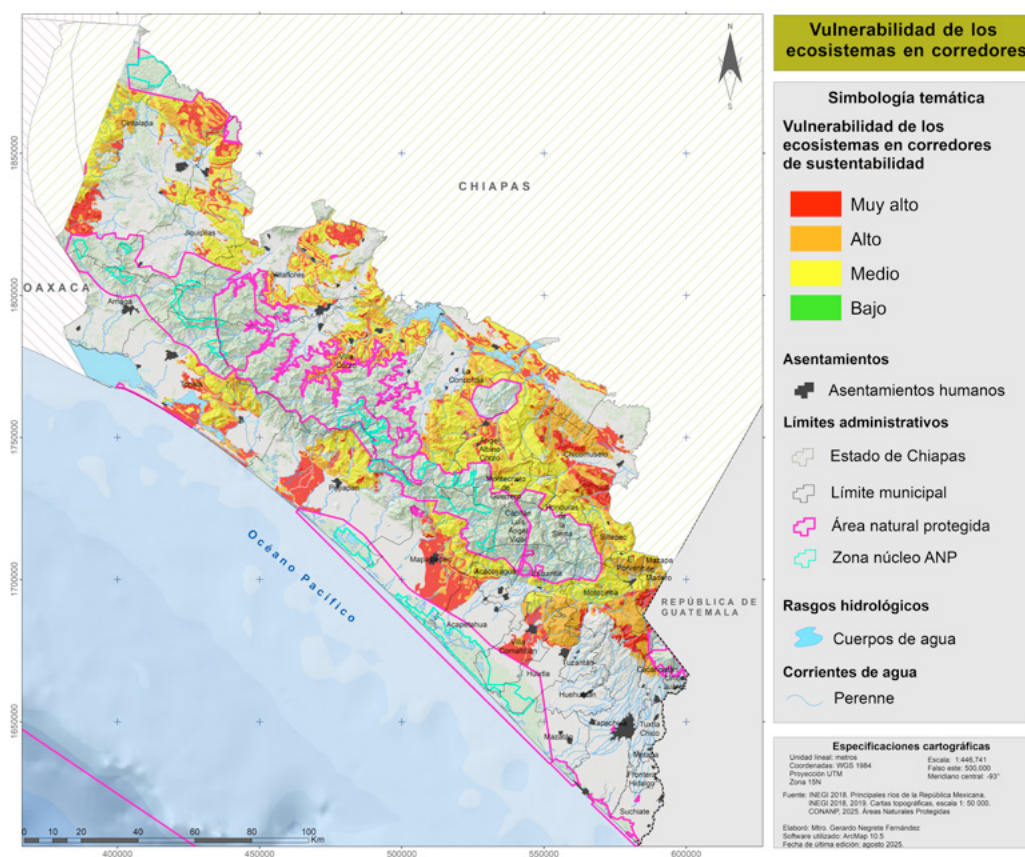
La vulnerabilidad en los diez corredores de sustentabilidad presenta una alta incidencia en los niveles alto y muy alto, los cuales abarcan en conjunto el 68 % de la superficie total de estos corredores. Entre ellos, destacan los corredores de Jaltenango-La Concordia, Mapastepec y Revolución mexicana, que en conjunto concentran el 57 % del área total clasificada en dichos niveles de vulnerabilidad (tabla 9 y mapa 14).

Tabla 9. Cobertura (ha) de vulnerabilidad en los corredores de sustentabilidad.

Corredor/ Nivel de Vulnerabilidad	Muy alto (ha)	Alto (ha)	Medio (ha)	Bajo (ha)	TOTAL
Huixtla	17,289.00	8,584.50	2,209.90	-	28,083.40
Jaltenango-La Concordia	86,175.00	117,287.40	74,397.30	-	277,859.70
Jiquipilas	19,741.30	19,303.10	29,778.40	2,963.70	71,786.50
Limítrofe	14,883.900	12,486.10	8,230.00	-	35,600.00
Mapastepec	36,324.80	17,109.40	24,243.60	-	77,677.80
Motozintla	10,795.10	22,990.40	25,627.00	-	59,412.50
Pijijiapan	15,091.20	16,956.60	17,528.00	-	49,575.80
Revolución mexicana	35,404.200	10,382.10	28,082.40	-	73,868.70
Tonalá	13,469.00	14,956.70	22,619.10	-	51,044.80
Villaflores	15,576.20	27,145.50	17,056.00	-	59,777.70
TOTAL	264,749.70	267,201.80	249,771.70	2,963.70	784,686.90

Fuente: elaboración propia.

Mapa 14. Vulnerabilidad en los corredores de sustentabilidad para el área de estudio.



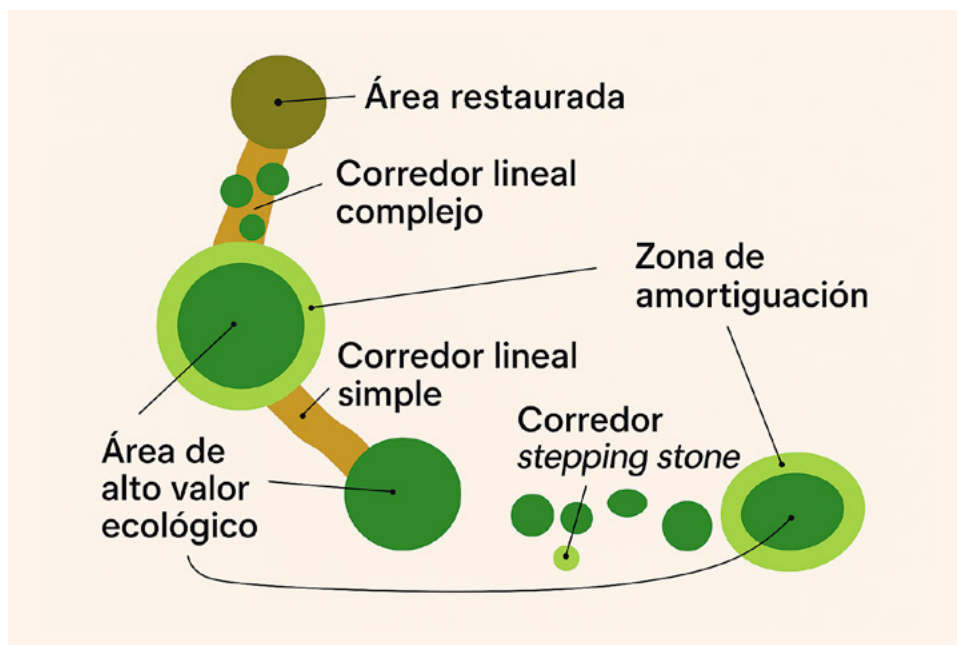
Fuente: elaboración propia.

La aplicación del principio precautorio resultó, en términos generales, en una baja representación de los niveles de vulnerabilidad baja y muy baja en el territorio. No obstante, la mayor cobertura dentro de los corredores de sustentabilidad se concentra en el nivel de vulnerabilidad media, lo cual reafirma el potencial que existe para la planeación territorial, tanto en el marco del Ordenamiento Ecológico como en los Programas de Manejo de las ANP.

Desde una perspectiva estructural del paisaje, estos corredores están conformados por modelos complejos, únicos y territorialmente pertinentes, no solo por su diseño ecológico, sino también por su dimensión social, cultural y económica. En este sentido, tienen el potencial de convertirse en mecanismos de facilitación territorial que trascienden la rigidez de los polígonos de las ANP y se consolidan como territorios-red, cuya matriz en mosaico se transforma y adapta con el tiempo. Por ello, estos corredores no deben ser concebidos únicamente como “caminos verdes” para el tránsito de fauna o la conectividad ecológica. Si bien las áreas de alto valor ecológico pueden estar vinculadas mediante corredores lineales simples o complejos, la conectividad que se promueve va más allá de la conservación, incorporando también acciones de restauración ecológica y manejo sustentable del paisaje. Este enfoque incluye arreglos de teselas de paso tanto dentro como fuera de los corredores, que permiten un manejo integral y estructural del paisaje. Se complementa además con áreas de restauración con distintos enfoques y niveles, archipiélagos de teselas de distintos tamaños y los propios NIC, junto con sus respectivas zonas de amortiguamiento.

Desde un enfoque complejo —y no meramente funcional—, la estructura del paisaje propuesta en los corredores cumple múltiples propósitos. Su integridad debe entenderse como una propiedad emergente, que surge de la sinergia entre los diversos elementos, la cual de manera aislada o solo agregada no puede darse.

Figura 3. Conectividad estructural del paisaje.



Fuente: tomado de Rey y de Torre, 2017.

La continuidad que existe entre las ANP y los corredores de sustentabilidad mantiene y refuerza la idea del potencial existente para la prevención, atención y mejora de los ecosistemas y los servicios ambientales en la región. La presencia del nivel medio de vulnerabilidad se vuelve ahora más evidente al considerar tanto los corredores como las ANP (mapa 13). No obstante, resulta especialmente relevante observar que en las zonas donde confluyen los corredores Limítrofe y Jiquipilas con las ANP Selva El Ocote (al norte) y La Sepultura (al sur), así como en los corredores de Huixtla, Pijijiapan y Mapastepec, que conectan con el ANP El Triunfo (al norte) y con La Encrucijada (al sureste), se presenta áreas contiguas de gran extensión clasificadas con vulnerabilidad muy alta. Este hallazgo permite formular una nueva hipótesis de trabajo para investigaciones futuras: la implementación efectiva de los corredores de sustentabilidad contribuye a disminuir la vulnerabilidad, al reducir los factores de sensibilidad y susceptibilidad. Esta hipótesis apunta a un elemento socioambiental clave para la mejora del estado de los ecosistemas y por ende los servicios ambientales en el ADE.

Conclusiones

Este estudio permite sostener que una estrategia metodológica que entrelaza la conectividad y la vulnerabilidad ofrece una base sólida para el diseño de paisajes sustentables en la Sierra y Costa de Chiapas. Los resultados abren una reflexión más amplia en la línea de lo planteado por Latour (2019), en el sentido de que estamos ante una transformación radical del vínculo entre sociedad y naturaleza.

La crisis ambiental pone en entredicho las dicotomías formuladas desde el paradigma de la modernidad: naturaleza vs. sociedad, hecho vs. valor, objeto vs. sujeto. Este estudio representa una contribución crítica a la ficción de una ciencia natural objetiva, separada del mundo social, donde las nociones ecológicas no pueden ser abordadas sin una redefinición socioambiental. Desde esta perspectiva, la propuesta de corredores de sustentabilidad no debe entenderse únicamente como un arreglo técnico o ecológico, sino como un intento por redefinir el paisaje como un territorio político-ecológico en el que se entrelazan especies, climas, suelos, normas y memorias comunitarias.

En esta lógica, la gobernanza del paisaje emerge como un componente clave para mantener las funciones ecológicas necesarias para la provisión de servicios ambientales esenciales. El estudio visibiliza cómo los núcleos agrarios con menor fragmentación no solo conservan mayor integridad ecosistémica, sino que también constituyen territorios donde operan formas comunitarias de normatividad ambiental, a menudo invisibilizadas por los marcos institucionales convencionales. Estos núcleos deben ser reconocidos como actores territoriales con agencia, que deben ser reconocidos y respetados como interlocutores plenos en la construcción de la sustentabilidad.

A su vez, la propuesta metodológica demuestra que la integración de corredores como mosaicos de paisaje permite construir arreglos multinivel y multipropósito. Estos no solo responden a la diversidad ecológica de la región, sino que cuestionan el binarismo entre conservación y aprovechamiento. Este enfoque reconoce la heterogeneidad territorial, las trayectorias históricas y la pluralidad de saberes como insumos fundamentales. Se trata de redefinir el lugar desde donde se habita y se toman decisiones, en un contexto donde los límites entre las orientaciones de uso del territorio son cada vez más porosos y disputados.

La incorporación de la vulnerabilidad complementa esta propuesta, al dotarla de un enfoque adaptativo que no solo diagnostica, sino que permite anticipar escenarios de riesgo y diseñar respuestas territoriales ancladas en la resiliencia comunitaria. Así, los corredores de sustentabilidad no deben concebirse como una extensión de las ANP, sino como un enfoque alternativo y complementario, que privilegia la gobernanza socioambiental de conglomerados de núcleos agrarios. A través de ellos se formula una política ambiental radicalmente territorializada, que apuesta por el respeto y fortalecimiento autonómico de los acuerdos comunitarios como pilares de construcción de la sustentabilidad.

Finalmente, esta propuesta metodológica y territorial derivada del estudio posee también el potencial de actualizar las políticas ambientales nacionales, alineándolas con el Marco Global de Biodiversidad de Kunming-Montreal, al tiempo que responde a los desafíos ético-políticos de la actual reorganización de la geopolítica ambiental global. Es, también, un llamado a construir políticas desde abajo, desde los territorios concretos, reconociendo que, ante la crisis ambiental, no se trata solo de conservar la naturaleza, sino de redefinir el mundo que queremos habitar colectivamente.

Recomendaciones de política pública

Para mejorar la construcción y aplicación de los Programas de manejo y políticas de las ANP, particularmente enfocados al mantenimiento y mejora de los servicios ambientales, se propone centrar temas y acciones en:

- Posicionar a las ANP y corredores como zonas críticas para la provisión de servicios ambientales clave, con enfoque en la regulación hídrica, captura de carbono, biodiversidad y protección contra riesgos naturales.
- Priorizar la inversión pública en su mantenimiento y expansión, articulando las ANP con esquemas de pagos por servicios ambientales (PSA) y fondos climáticos.
- Ampliar la incidencia de acciones relacionadas con los servicios ambientales clave, que no se restrinjan al interior de las ANP, sino que promuevan la conectividad ecológica y funcional del paisaje, incluyendo corredores y territorios comunales contiguos.
- Promover una política de servicios ambientales basada en paisaje, que reconozca a los corredores de sustentabilidad como áreas complementarias de provisión y flujo de servicios, articulando las ANP federales con los territorios agrarios mediante incentivos, acuerdos comunitarios, y figuras como ADVC o zonas de restauración prioritarias.
- Incluir explícitamente en los Programas de Manejo de las ANP la gestión de servicios ambientales de regulación climática y reducción de riesgos, como parte de una estrategia nacional de adaptación basada en ecosistemas (EbA). Esto implica fortalecer las zonas de amortiguamiento y crear cinturones de conectividad con alto valor funcional.
- Ampliar el concepto de servicios ambientales, como servicios ecosistémicos, en la política pública para incluir valores bioculturales, prácticas tradicionales y arreglos comunitarios que sostienen la provisión de servicios como la biodiversidad, la fertilidad del suelo y la conservación del agua. Esto requiere generar metodologías diferenciadas para su valoración cualitativa, además de esquemas de fortalecimiento institucional a nivel local.
- Incluir criterios de conectividad ecológica como condicionante en la planeación, priorización y asignación de recursos para PSA, restauración y conservación. Esto debe traducirse en indicadores territoriales de continuidad ecológica dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SINANP) y en las políticas del Fondo Forestal Mexicano y otros mecanismos financieros.

Bibliografía

- Alarcón, L. (2017). *Análisis de fragmentación y conectividad ecológica entre relictos de cobertura vegetal asociada al área de influencia del Río Cravo Sur en el Municipio de Yopal, Casanare, Colombia* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Escuela de Ciencias Agrarias, Pecuarias y del Medio Ambiente.
- Arreola, A., y Saldivar, A. (2017). De Reclus a Harvey: La resignificación del territorio en la construcción de la sustentabilidad. *Región y Sociedad*, 29(68), 223–257.
<https://doi.org/10.22198/rys.2017.68.a874>
- Azócar de la Cruz, G. (2018). *Vulnerabilidad y resiliencia como condiciones de intervención de crisis socio-ecológicas*. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Chile.
- Beier, P., Spencer, W., Baldwin, R., & McRae, B. (2011). *Toward best practices for developing regional connectivity maps*. *Conservation Biology*, 25(5), 879–892.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01716.x>
- Cabezas, M. (2020). *Análisis de fragmentación y conectividad estructural del paisaje en la cuenca hidrográfica del Río Calenturitas, Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás].

- Cardona, O. (2002). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. *Centro de Estudios sobre Desarrollo y Riesgos – CEDERI. Ponencia presentada en International Work-conference on Vulnerability in Disaster, Theory and Practice* (2001). Universidad de Bogotá, Colombia.
- CONABIO. (2017). *Sistema MAD-Mex (Monitoring Activity Data for the Mexican REDD+ program)*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <https://madmex.conabio.gob.mx>
- Conde, D. A., & Shah, V. B. (2017). *Gnarly Landscape Utilities* [Conjunto de herramientas SIG]. Circuitscape Project. <https://circuitscape.org/gnarly-landscape-utilities/>
- De Chazal, J., Quine, C. P., & Gimona, A. (2008). Including multiple differing stakeholder values into vulnerability assessments of socio-ecological systems. *Global Environmental Change*, 18(3), 508–520. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.04.002>
- DOF. (2019). *Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010*. Diario Oficial de la Federación, 14 de noviembre de 2019. <https://www.dof.gob.mx/>
- FragScape. (2023). *FragScape v2.03 [Complemento de QGIS]*. Calculadora de métricas de fragmentación del paisaje basadas en el tamaño de malla efectiva (Jaeger, 2000). <https://github.com/Fragscape/fragscape>
- Gallopin, G. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Gobierno del Estado de Chiapas. (2024). *Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de los Paisajes Sostenibles de la Sierra Madre y Costa de Chiapas* (Arreola, A., Reyes, C., Sorani, V., Negrete, G., Hernández, A., Aguiluz, G., Barrios, M. E., Valencia, M., Cárdenas, M. G., Villafuerte, L., & Gómez, J.). Gobierno del Estado de Chiapas.
- Grantham, H. S., Duncan, A., Evans, T. D., Jones, K. R., Beyer, H. L., Schuster, R., ... Watson, J. E. M. (2020). *Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity*. *Nature Communications*, 11, 5978. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19493-3>
- Hubbell, S. P., He, F., Condit, R., Borda-de-Água, L., Kellner, J., & Steege, H. (2008). How many tree species are there in the Amazon and how many of them will go extinct? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(Suppl 1), 11498–11504. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801915105>
- INEGI. (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000. Serie VII. Capa Unión*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>
- Jaeger, J. A. G. (2000). Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*, 15, 115–130. <https://doi.org/10.1023/A:1008129329289>
- Janzen, D. H. (1970). Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist*, 104(940), 501–528. <https://doi.org/10.1086/282687>
- Krellenberg, K., Welz, J., Link, F., & Barth, K. (2017). Urban vulnerability and the contribution of socio-environmental fragmentation: Theoretical and methodological pathways. *Environment and Urbanization*, 29(2), 525–540. <https://doi.org/10.1177/0956247817717861>
- Latour, B. (2007). *Nunca fuimos modernos: Ensayo de antropología simétrica*. Siglo XXI Editores.
- Latour, B. (2019). *Dónde aterrizar: Cómo orientarse en política*. Taurus.
- Laurance WF, Nascimento HEM, Laurance SG, Andrade A, Ewers RM, et al (2007) *Habitat Fragmentation, Variable Edge Effects, and the Landscape-Divergence Hypothesis*. *PLoS ONE* 2(10): e1017. doi:10.1371/journal.pone.0001017
- Leff, E. (2014). *Racionalidad ambiental: La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI Editores.
- Linkage Mapper. (2022). *Linkage Mapper connectivity analysis software*. <https://linkagemapper.org/>
- Linkage Mapper. (2017). *Linkage Mapper Toolbox v2.0* [Software de análisis de conectividad]. The Nature Conservancy & Center for Landscape Conservation. <https://linkagemapper.org/>
- Márquez, G., y Valenzuela, E. (2008). Estructura ecológica y ordenamiento territorial ambiental. *Gestión y Ambiente*, 11(2), 137–148.
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure* (Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351). U.S. Forest Service, Pacific Northwest Research Station. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/26005>
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). *FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps* (Versión 4.2). University of Massachusetts. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- McRae, B. H., & Kavanagh, D. M. (2011). *Linkage Mapper connectivity analysis software*. The Nature Conservancy. <http://www.circuitscape.org/linkagemapper>
- McRae, B. H., Shirk, A. J., & Platt, J. T. (2013). *Gnarly Landscape Utilities: Resistance and habitat calculator user guide*. The Nature Conservancy. <http://www.circuitscape.org/gnarly-landscape-utilities>
- Novotny, V., Drozd, P., Miller, S. E., Kulfan, M., Janda, M., Basset, Y., & Weiblen, G. D. (2006). Why are there so many species of herbivorous insects in tropical rainforests? *Science*, 313(5790), 1115–1118. <https://doi.org/10.1126/science.1129237>
- QGIS Development Team. (2021). *QGIS Geographic Information System* (Versión 3.16.14). Open Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org>
- Rey, J. M., y de Torre, R. (2017). *Medidas para fomentar la conectividad entre espacios naturales protegidos y otros espacios de alto valor natural en España*. Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas (FIRE), MNCN-CSIC y MAPAMA.
- Schneiderbauer, S., & Ehrlich, D. (2004). *Risk, hazard and people's vulnerability to natural hazards: A review of definitions, concepts and data*. European Commission, Joint Research Centre.
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., ... & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- World Resources Institute & Wildlife Conservation Society. (2021). *Forest Landscape Integrity Index* [Capa de datos geoespaciales]. Accedido a través de Global Forest Watch. <https://www.globalforestwatch.org>
- Zonneveld, I. S. (1979). *Land ecology: An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. SPB Academic Publishing.

CAPÍTULO CUATRO

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN RECUPERACIÓN: LOGROS Y PENDIENTES EN EL PARQUE NACIONAL CONSTITUCIÓN DE 1857 EN 44 AÑOS

Dr. Juan Jose Von Thaden Ugalde¹, Mtro. Gilberto Binqüist Cervantes², Lic. Jhoanna Fernández Linares³ y Lic. Melissa Cervantes Hernández⁴, Dra. Debora Lithgow Serrano⁵

Resumen

El Parque Nacional Constitución de 1857 (PNC1857), ubicado en la Sierra de Juárez, Baja California, es una de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) más importantes del noroeste de México debido a que resguarda ecosistemas forestales templados únicos en la región árida del norte del país. Fue decretado en 1962 en respuesta a las crecientes amenazas que enfrentaba la región, como la sobreexplotación forestal, la expansión de la ganadería extensiva y el deterioro de cuerpos de agua clave, como la Laguna Hanson. El objetivo de este capítulo fue evaluar la dinámica de la cobertura forestal entre 1979 y 2023 (44 años), y realizar una caracterización social de los impactos actuales provocados por la ganadería extensiva. Por lo tanto, se realizó un análisis multitemporal con imágenes satelitales, se estimó el almacenamiento y secuestro de carbono como indicadores de provisión de servicios ecosistémicos, y se aplicaron entrevistas semiestructuradas a personal del parque y ganaderos locales para comprender el contexto actual socioecológico de la región, zonificando así las áreas actuales más degradadas y la identificación de rutas de pastoreo. A lo largo del periodo de estudio, se recuperaron 1,826 hectáreas de bosque, lo que resultó en un secuestro de aproximadamente 388,375.42 toneladas de carbono. Aunque se observaron avances significativos en la recuperación de la cobertura forestal, particularmente en zonas anteriormente degradadas, también se identificaron focos de presión ambiental, especialmente en áreas cercanas a cuerpos de agua y zonas de uso público, donde se detectó alta compactación del suelo, menor productividad vegetal y la pérdida de funciones ecológicas esenciales. Estos resultados subrayan la efectividad del PNC 1857 en la restauración de la vegetación y la provisión de servicios ecosistémicos, pero también evidencian los retos socioambientales persistentes, como el impacto de la ganadería.

Palabras clave: Recuperación forestal; Secuestro de carbono; Ganadería; Dinámicas socioecológicas; Percepción remota

Abstract

The National Park Constitution de 1857 (PNC1857, for its acronym in Spanish), located in the Sierra de Juárez, Baja California, is one of the most important Natural Protected Areas (NPAs) in northwestern Mexico, as it safeguards temperate forest ecosystems that are unique within the arid northern region of the country. It was decreed in 1962 in response to growing threats to the region, such as forest overexploitation, the expansion of extensive cattle ranching, and the deterioration of key water bodies, including Laguna Hanson. The objective of this chapter was to assess forest cover dynamics between 1979 and 2023 (44 years) and to conduct a social characterization of the current impacts caused by extensive cattle ranching. Therefore, a multitemporal analysis using satellite imagery was performed; carbon storage and sequestration were estimated as indicators of ecosystem service provision; and semi-structured interviews were conducted with park staff and local ranchers to understand the current socioecological context of the region, allowing for the zoning of the most degraded areas and the identification of grazing routes. Over the study period, 1,826 hectares of forest were recovered, resulting in approximately 388,375.42 tons of carbon sequestration. Although sig-

1 Laboratorio de Planeación Ambiental, Departamento El Hombre y su Ambiente. Correo: jvonthaden@correo.xoc.uam.mx

2 Laboratorio de Planeación Ambiental, Departamento El Hombre y su Ambiente. Correo: gsvan@correo.xoc.uam.mx

3 Laboratorio de Planeación Ambiental, Departamento El Hombre y su Ambiente. Correo: 2192032494@alumnos.xoc.uam.mx

4 Laboratorio de Planeación Ambiental, Departamento El Hombre y su Ambiente. Correo: 2192035511@alumnos.xoc.uam.mx

5 Red de Ambiente y Sustentabilidad, Instituto de Ecología, A.C. Correo: debora.lithgow@inecol.mx

nificant progress was observed in forest cover recovery, particularly in previously degraded areas, hotspots of environmental pressure were also identified, particularly near water bodies and public-use zones, where high soil compaction, lower plant productivity, and the loss of essential ecological functions were detected. These results highlight the effectiveness of PNC1857 in restoring vegetation and providing ecosystem services, while also revealing persistent socio-environmental challenges such as the impacts of livestock activity.

Keywords: Forest recovery; Carbon sequestration; Livestock farming; Socioecological dynamics; Remote sensing

Introducción

Un Área Natural Protegida (ANP) es un espacio geográfico delimitado que tiene como objetivo principal la conservación de la biodiversidad, así como la protección y el manejo sostenible de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos (CONANP, 2016). Las ANP han sido reconocidas como una herramienta esencial y eficaz para preservar la biodiversidad y garantizar el equilibrio ambiental que sustenta nuestra vida diaria (CONANP, 2016). Sin embargo, estas áreas enfrentan diversos procesos de deterioro que afectan su biodiversidad y recursos naturales, desde la extracción de recursos hasta la transformación completa de los ecosistemas (Salazar & García, 2020). Por esta razón, es importante realizar el monitoreo constante de su estado para garantizar el cumplimiento de sus objetivos de conservación y la provisión de servicios ecosistémicos (Dávalos et al., 2014).

Para septiembre del 2024, México registró 232 Áreas Naturales Protegidas (ANP), de las cuales 68 se encuentran de carácter federal, administradas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2024). Estas áreas abarcan aproximadamente 99.3 millones de hectáreas, lo que representa 13.4% terrestre y 23.1% marina del territorio nacional. Estos territorios son claves para garantizar la integridad ambiental del país frente a amenazas como la deforestación, el cambio climático y la expansión urbana. Por ello, su monitoreo es fundamental para salvaguardar la biodiversidad y asegurar el bienestar humano.

Los monitoreos de las ANP se realizan principalmente desde tres enfoques complementarios que permiten evaluar su estado: el primero analiza la extensión y representatividad de la biodiversidad que albergan; el segundo aborda estudios a escalas espaciales y temporales amplias para comprender el impacto de actividades humanas como la deforestación, la urbanización y las prácticas agropecuarias; y el tercero evalúa su efectividad, entendida como la capacidad de alcanzar los objetivos de conservación y provisión de servicios ecosistémicos establecidos (Leverington et al., 2010). Estos enfoques no solo permiten monitorear el estado actual de las ANP, sino que también generan información clave para entender los procesos que afectan su sostenibilidad a largo plazo.

Los estudios centrados en los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal a escalas temporales amplias resultan esenciales, ya que permiten identificar tendencias en la degradación, la desertificación y la pérdida de biodiversidad dentro de estas áreas, así como evaluar las alteraciones en la provisión de servicios ecosistémicos clave, como la captura de carbono, la regulación hídrica y el mantenimiento del hábitat. En México, diversos trabajos coinciden en que el cambio de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal constituyen los principales desafíos para la conservación efectiva de las ANP (Villegas & Gómez, 2020). Este enfoque, además de facilitar la categorización precisa de las relaciones entre actividades humanas y el medio ambiente (CONANP, 2016), proporciona insumos valiosos para apoyar la toma de decisiones sobre el futuro de las ANP y sus territorios asociados.

Históricamente, en el estado de Baja California se han desarrollado actividades recreativas, ganaderas y de extracción de recursos silvícolas (CONANP, 2007). No obstante, la expansión de estas actividades ha generado impactos significativos sobre los ecosistemas locales, especialmente en áreas protegidas, donde el sobrepastoreo, la fragmentación del hábitat y la pérdida de cobertura vegetal comprometen los objetivos de conservación. Por ello, es necesario evaluar de manera integral los efectos acumulativos de estas presiones para orientar estrategias de manejo adaptativo en las ANP. En Baja California existen cinco ANP de carácter federal, siendo uno de ellos el Parque Nacional Constitución de 1857 (PNC1857), decretado como parque nacional en 1962 debido a su alto valor ecológico, paisajístico e hídrico, en una región predominantemente árida. Su importancia radica en que conserva ecosistemas de bosques templados de pino y pino-encino en una zona rodeada de matorrales y desiertos, al tiempo que resguarda especies endémicas, relictas y amenazadas, como *Pinus jeffreyi*, *P. monophylla*, el águila calva (*Haliaeetus leucocephalus*), el puma (*Puma concolor*) y el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*) (CONANP, 2007). Además, contiene el cuerpo de agua semipermanente más importante de la región, la Laguna Hanson, clave para la biodiversidad y la recarga hídrica local.

Comprender los procesos de cambio en el uso de suelo y la cobertura vegetal en este parque es vital no solo para identificar patrones de deterioro, sino también para evaluar cómo estas transformaciones influyen en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como el almacenamiento de carbono, la regulación hídrica y el mantenimiento de la biodiversidad (PNUD & CONANP, 2019). Debido a que, a pesar de su estatus de protección, el parque enfrenta presiones socioambientales significativas, en especial por la presencia de ganadería extensiva

no regulada que ha generado daños en la cobertura vegetal, compactación de suelos, introducción de especies invasoras y afectaciones a especies faunísticas sensibles. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo una evaluación integral que combina el análisis multitemporal del cambio de uso de suelo y vegetación entre 1979 y 2023, la estimación del secuestro de carbono y el análisis de las zonas más impactadas por la actividad ganadera, a partir de entrevistas, recorridos de campo e índices espectrales de imágenes satelitales.

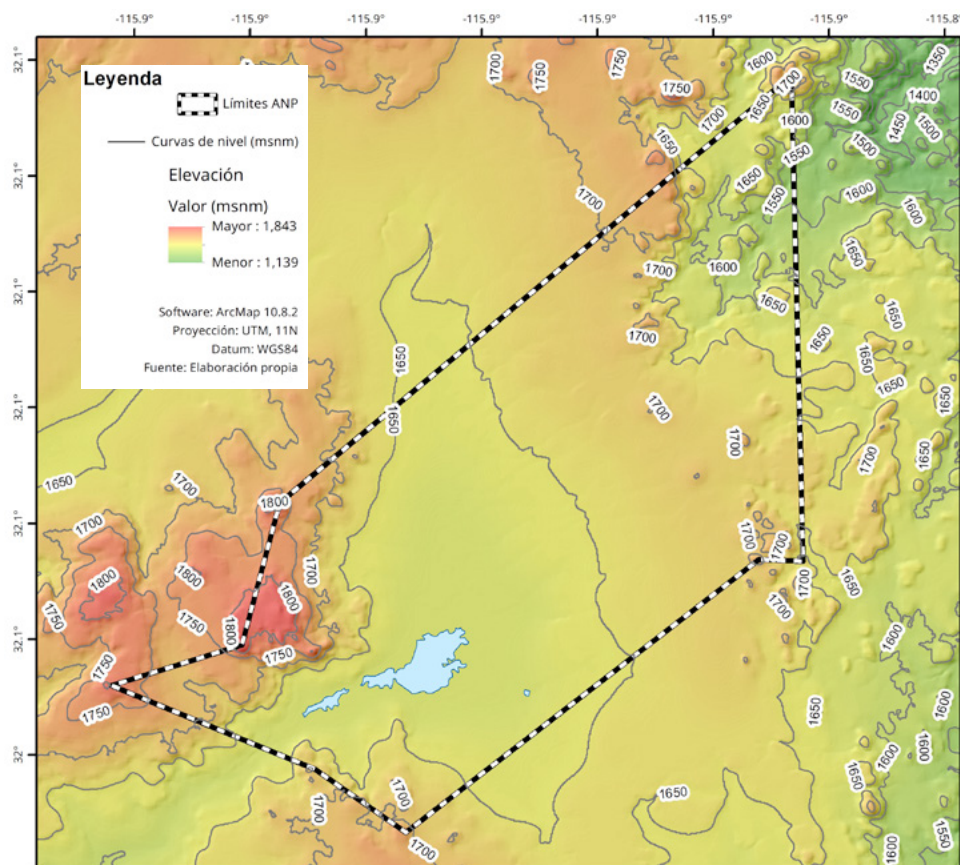
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El PNC 1857 se localiza al norte del municipio de Ensenada, en Baja California (Latitud: 32°00'42" N; Longitud: 116°04'54" O), y fue decretado como ANP en 1962, abarcando una superficie de 5,009.48 hectáreas (véase Mapa 1). Su clima es de tipo mediterráneo templado, con lluvias invernales que favorecen una alta diversidad ecológica (CONANP, 2019). La geología del parque está dominada por rocas ígneas del batolito peninsular, mientras que los suelos predominantes son Litosoles y Regosoles, acompañados de suelos aluviales en torno a la Laguna Hanson, un cuerpo de agua epicontinental de gran valor ecológico, declarado sitio RAMSAR por su función como hábitat de aves migratorias y fuente de servicios ambientales clave (CONANP, 2009; RAMSAR, 2010).

La vegetación del parque está compuesta principalmente por bosques de pino y encino, matorral, chaparral y pastizales. En altitudes de 1500 a 2200 msnm destaca el pino amarillo (*Pinus jeffreyi*), mientras que en zonas húmedas próximas a la laguna dominan herbáceas de las familias Poaceae, Cyperaceae y Asteraceae. Esta diversidad vegetal sostiene una mastofauna representativa de la Sierra de Juárez, incluyendo especies como el venado bura, puma, coyote, gato montés, mapache, ardilla gris y tejón (CONANP, 2009; CONANP, 2019). La combinación de elementos geofísicos, climáticos y biológicos convierte al PNC 1857 en un espacio estratégico para la conservación de ecosistemas templados en el noroeste de México.

Mapa 1. Ubicación del ANP PNC 1857



Fuente: elaboración propia.

Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y vegetación (1979-2023)

Para el análisis de la dinámica en la cobertura vegetal del PNC 1857, se obtuvieron ortofotos e imágenes satelitales de diferentes fuentes: imagen satelital CORONA (1979), ortofoto del INEGI (1993), imagen satelital RapidEye (2010) e imagen satelital Planet (2023). En el caso de las imágenes correspondientes a los años 1979 y 1993 son imágenes pancromáticas, es decir, que cuentan con una sola banda espectral. Por otro lado, las imágenes de 2010 y 2023 son multiespectrales y contienen cuatro bandas (rojo, verde, azul e infrarrojo cercano). La clasificación de las imágenes satelitales para los años de 1979 y 1993 se realizaron mediante una clasificación no supervisada con el algoritmo IsoCluster, mientras que para los años de 2010 y 2023 se realizó mediante el algoritmo de Máxima Verosimilitud en el software ArcMap 10.8.2. Esta elección metodológica obedeció a las capacidades diferenciadas de cada imagen en términos de resolución espectral y disponibilidad de información temática. En los mapas elaborados se distinguieron las siguientes categorías: cobertura forestal, pastizal/chaparral y roca/suelo desnudo.

La validación de mapas se realizó mediante matrices de confusión y se calculó el Índice de Kappa. Para cada categoría de uso de suelo y vegetación se seleccionaron al menos 50 puntos de control para la validación. En el caso del año 2023, los puntos de control se obtuvieron mediante muestreo directo en campo. Para los años 1979 a 2010, se realizó una fotointerpretación retrospectiva de cada uno de los puntos utilizando las imágenes satelitales de esos periodos (Campbell et al., 2015).

Al final del proceso, se generaron matrices de transición para evaluar los cambios de uso de suelo y vegetación durante los periodos analizados, permitiendo visualizar las transformaciones entre las distintas clases de cobertura en cada uno de los intervalos temporales.

Estimación de almacenamiento y secuestro de carbono

La estimación del carbono almacenado y secuestrado se realizó con el módulo “Carbon Storage and Sequestration” del software InVEST (v.3.14.0). A cada clase de cobertura (forestal, pastizal y suelo desnudo) se le asignaron valores promedio de contenido de carbono correspondientes a cuatro reservas: biomasa aérea, biomasa subterránea, carbono en el suelo y materia orgánica muerta. Estos valores se parametrizaron a partir de datos locales y regionales de bosques secundarios, con el fin de reflejar de forma realista la capacidad de almacenamiento de carbono de las especies presentes bajo prácticas de manejo climático (Banco Mundial & INECC, 2022). El modelo calcula el carbono total al multiplicar el contenido promedio por la superficie de cada tipo de cobertura. Finalmente, se compararon los valores obtenidos para los años 1979 y 2023, con el propósito de evaluar los cambios en el almacenamiento y la dinámica del secuestro de carbono a lo largo del periodo analizado.

Entrevistas, recorridos de campo y análisis de NDVI

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas a cinco miembros del personal del parque (guardaparques y técnicos) y a seis ganaderos locales, con el fin de identificar zonas críticas afectadas por el pastoreo, caracterizar la dinámica ganadera e indagar sobre conflictos socioecológicos. Las entrevistas incluyeron temas como temporalidad del pastoreo, número de animales, cambios observados en la vegetación, percepción de la efectividad de las acciones de conservación y relaciones entre actores. Como complemento, se realizaron recorridos de campo en zonas clave, donde se georreferenciaron áreas degradadas, rutas de tránsito del ganado, puntos de abrevadero y sitios con presencia de infraestructura ganadera (corrales, cercos). Esta información permitió validar observaciones realizadas en gabinete y establecer una relación espacial entre la actividad ganadera y los patrones de deterioro identificados.

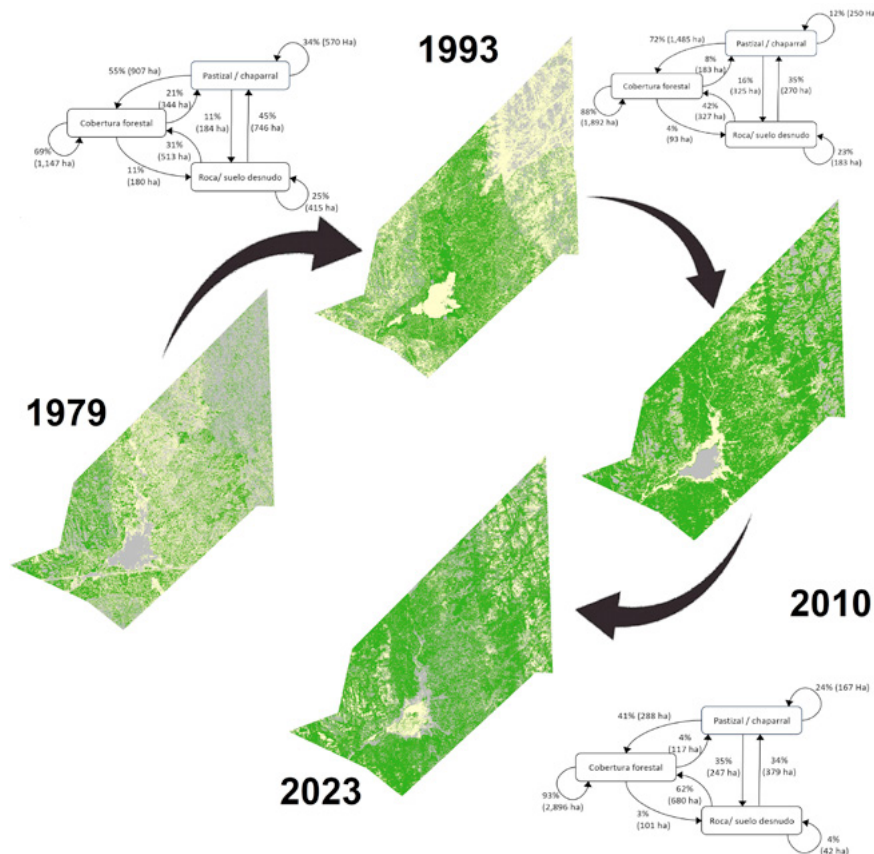
Durante los recorridos de campo se trazaron y georreferenciaron rutas ganaderas activas en el PNC 1857, incluyendo caminos de tránsito del ganado, zonas de descanso, puntos de abrevadero y áreas con infraestructura asociada (como corrales y cercos). Esta información permitió delimitar espacialmente las áreas más utilizadas por el ganado dentro del polígono del ANP. Para enfocar el análisis en las áreas más sensibles a la degradación, se seleccionaron únicamente los valores de NDVI correspondientes a las coberturas forestales (bosque de pino y bosque de pino-encino). Posteriormente, estos valores filtrados fueron clasificados en tres categorías de deterioro (alto, medio y bajo) utilizando el método de Natural Breaks (Jenks), el cual agrupa los datos de manera que minimiza la variación interna de cada clase y maximiza la diferencia entre clases. Dentro de esta clasificación, los valores más bajos de NDVI se interpretaron como zonas de mayor degradación, reflejando disminuciones significativas en la productividad y salud de la vegetación.

RESULTADOS

Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y vegetación (1979-2023) y estimación de almacenamiento y secuestro de carbono

Se obtuvieron valores de Kappa entre 0.87-0.93 para el periodo 1979-2023, lo que refleja una alta precisión en la clasificación. El análisis multitemporal mostró un incremento progresivo de la cobertura forestal, de 1,671 ha en 1979 a 3,555 ha en 2023, y una disminución del suelo desnudo de 1,674 ha a 389 ha en el mismo periodo. Los pastizales mostraron una dinámica fluctuante, influida por la regeneración y las presiones ganaderas (véase Mapa 2). La estimación de carbono indicó una ganancia neta acumulada de 388,375.42 megatoneladas en 44 años, atribuida principalmente a la transición de suelo desnudo y pastizales hacia bosque.

Mapa 2. Mapas de uso del suelo y vegetación para los años de 1979,1993,2010 y 2023, así como matrices de transición para los periodos 1979-1993, 1993-2010 y 2010-2023.



Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2025) e INEGI (1979,1993,2010 y 2023).

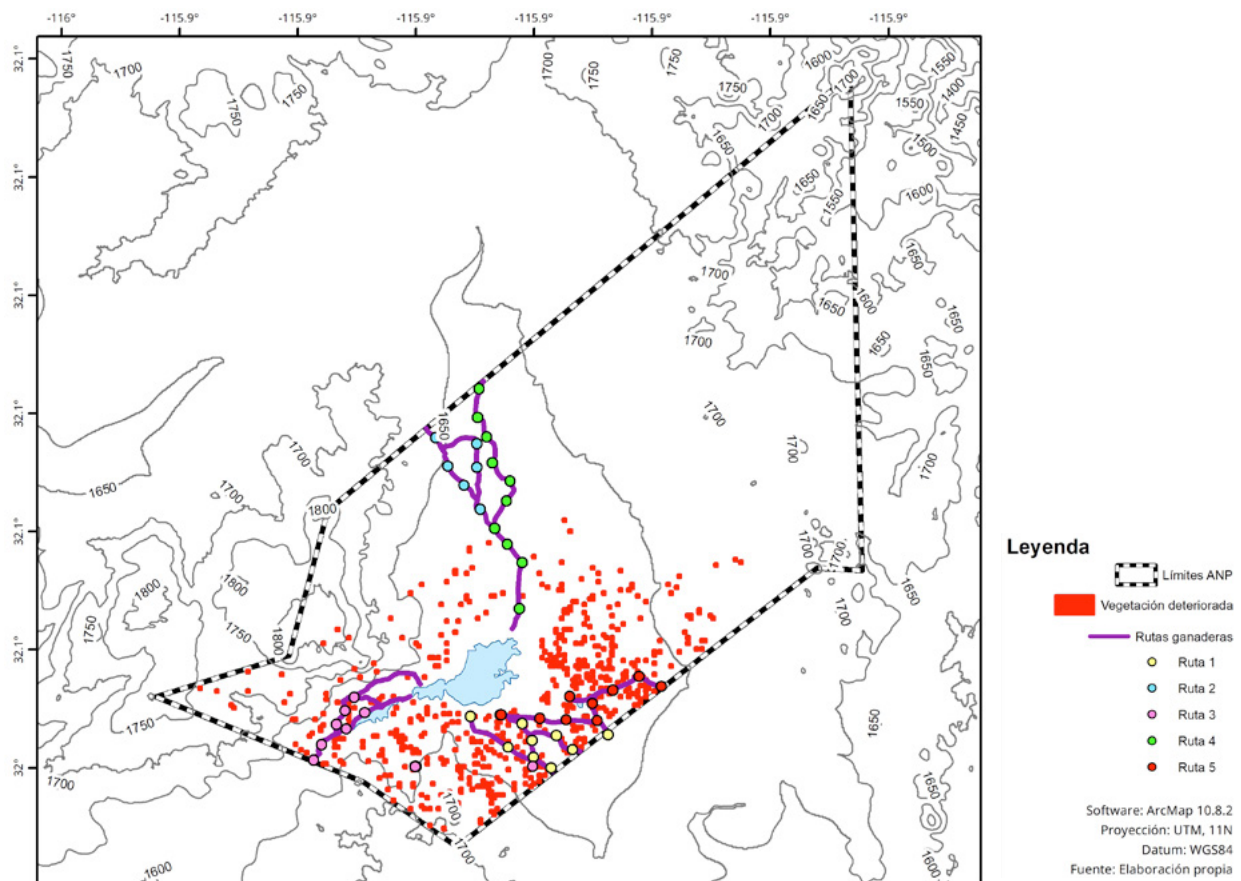
En el análisis multitemporal de la cobertura vegetal y los flujos de carbono en el PNC 1857, se observan importantes transiciones de uso de suelo y sus correspondientes cambios en el almacenamiento y secuestro de carbono. Entre 1979 y 1993, la conversión de pastizal —chaparral a cobertura forestal (570 ha) resultó en un incremento en el almacenamiento de carbono, con un aumento de aproximadamente 1,670.94 toneladas de carbono. Sin embargo, la conversión de cobertura forestal a roca o suelo desnudo (513 ha) provocó una pérdida de aproximadamente 1,674.13 toneladas de carbono. Entre 1993 y 2010, la expansión de cobertura forestal (1,485 ha de pastizal - chaparral transformado) resultó en un incremento de 2,168.03 toneladas de carbono, mientras que las áreas de cobertura forestal que se convirtieron en roca o suelo desnudo (327 ha) perdieron 778.64 toneladas de carbono. En el periodo entre 2010 y 2023, la cobertura forestal aumentó en 1,094 ha, lo que se tradujo en un incremento de 3,204.23 toneladas de carbono. En contraste, las áreas de roca o suelo desnudo y pastizal—chaparral vieron una disminución del almacenamiento de carbono, con una pérdida total de 1,100.63 toneladas de carbono. Este patrón de crecimiento de la cobertura forestal refleja esfuerzos de restauración y secuestro de carbono, aunque persisten áreas de presión donde se continúa perdiendo carbono debido a la transformación de bosques en suelos desnudos.

Entrevistas, recorridos de campo y análisis de NDVI

Los resultados obtenidos de las entrevistas semiestructuradas con cinco miembros del personal del parque y ganaderos locales permitieron identificar zonas críticas afectadas por el pastoreo y caracterizar la dinámica ganadera en el PNC 1857. Los entrevistados señalaron que el pastoreo es más intensivo durante las temporadas de sequía, lo que aumenta la presión sobre las áreas de vegetación vulnerable. Los ganaderos informaron que el número de animales ha aumentado en los últimos años, lo que, combinado con la percepción de escasa efectividad de las acciones de conservación actuales, contribuye a una mayor degradación de la cobertura vegetal. Las entrevistas también revelaron tensiones entre los actores involucrados, principalmente en relación con el acceso a recursos hídricos y la expansión de áreas destinadas al pastoreo. Esta información proporcionó un panorama claro de los factores socioecológicos que impactan la gestión del parque y la relación entre las actividades humanas y la conservación.

Los recorridos de campo y el análisis de NDVI corroboraron la información obtenida en las entrevistas, al permitir una validación espacial precisa de las zonas afectadas. Durante los recorridos, se georreferenciaron rutas ganaderas activas, incluyendo caminos de tránsito del ganado, zonas de descanso, puntos de abrevadero y áreas con infraestructura ganadera como corrales y cercos. Esta información fue utilizada para crear un mapa de calor que visualizó las áreas de mayor presión por pastoreo (véase Mapa 3). El análisis del NDVI reveló una clara correlación entre las rutas ganaderas y los valores más bajos de NDVI, indicando áreas de alto deterioro en la vegetación. Las zonas con valores de NDVI más bajos se concentraron en los caminos de tránsito intensivo del ganado, lo que sugiere que el pastoreo tiene un impacto directo en la reducción de la cobertura vegetal, particularmente en los bosques de pino y las zonas de pastizal. Estos resultados destacan la necesidad urgente de mejorar la gestión del pastoreo y de implementar estrategias de conservación más eficaces en las áreas más afectadas por la actividad ganadera.

Mapa 3. Rutas ganaderas identificadas y zonas de vegetación con mayor deterioro.



Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2025).

Conclusión

A lo largo de los últimos años, el Parque Nacional Constitución de 1857 (PNC 1857) ha experimentado una notable recuperación de su cobertura vegetal, lo que ha contribuido significativamente al almacenamiento y secuestro de carbono. La expansión de áreas forestales, especialmente en sitios que anteriormente estaban dominados por pastizales y suelos desnudos, ha resultado en un incremento sustancial de la biomasa y en una mejora en la funcionalidad ecológica del ecosistema. Este proceso de restauración ha tenido un impacto positivo en la mitigación del cambio climático a nivel local, al facilitar el secuestro de más de 388,000 toneladas de carbono, y representa un claro indicador del restablecimiento de servicios ecosistémicos de provisión y regulación, como la captura de carbono y la protección del suelo.

Además, los resultados permiten identificar el aporte del parque a servicios ecosistémicos de soporte, como la regeneración de hábitats, particularmente en zonas donde la recuperación forestal ha sido más estable. Asimismo, al integrar la percepción de actores locales y registrar zonas de uso público con alto valor simbólico y recreativo, como la Laguna Hanson, se visibilizan elementos vinculados a servicios ecosistémicos culturales, fundamentales para la apropiación social del territorio y el fortalecimiento de su conservación.

Sin embargo, a pesar de estos avances, persisten retos importantes relacionados con las presiones humanas, en especial la ganadería extensiva no regulada. La gestión de esta actividad representa un desafío estructural, ya que las dinámicas socioecológicas que involucran a ganaderos y autoridades del parque aún requieren enfoques más integrales y adaptativos. Las percepciones de ineficacia en las medidas de control del pastoreo y la falta de coordinación efectiva entre actores institucionales y comunitarios limitan la implementación de estrategias de conservación sostenible.

En conclusión, el PNC 1857 ha logrado avances significativos en la recuperación de su vegetación y en la recuperación de diversos servicios ecosistémicos. No obstante, el logro de una conservación efectiva a largo plazo dependerá del fortalecimiento de las políticas de manejo, de una gobernanza más participativa, y de la articulación de acciones orientadas a reducir las presiones productivas que aún amenazan la integridad ecológica y funcional de este territorio protegido.

Bibliografía

- Banco Mundial & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2022). *Valoración de servicios ecosistémicos clave en cuencas de México: Reporte final*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/805434/02_Informe_Final_GPS_Mexico_2022_.pdf
- Campbell, M., Congalton, R. G., Hartter, J., & Ducey, M. (2015). Optimal land cover mapping and change analysis in northeastern Oregon using Landsat imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(1), 37–47. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.1.37>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2007). *Programa de manejo: Parque Nacional Constitución de 1857*. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/PM_constitucion.pdf
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2016). *Plan de acción para el financiamiento estratégico 2016-2018* (2ª ed.). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/363143/PAFE2aedicion.pdf>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019). *Parque Nacional Constitución de 1857*. Gobierno de México. Recuperado el 15 de marzo de 2025, de <https://www.gob.mx/conanp/documentos/parque-nacional-constitucion-de-1857-228865>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2024). *Sistema de Información Geográfica*. Recuperado el 29 de marzo de 2025, de <https://sig.conanp.gob.mx/General>
- Dávalos, L. I. Í., Sierra, C. L. J., Ramírez, J. S., & Ortega-Rubio, A. (2014). Categorías de las áreas naturales protegidas en México y una propuesta para la evaluación de su efectividad. *Investigación y Ciencia*, 22(60), 65–70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431160008>
- Leverington, F., Costa, K. L., Pavese, H., Lisle, A., & Hockings, M. (2010). *A global analysis of protected area effectiveness*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9564-5>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019). *Proyecto Resiliencia: Áreas naturales protegidas, soluciones naturales a retos globales*. https://www.conanp.gob.mx/ProyectoResiliencia/ResilienciaANP_SolucionesNaturalesAREtosGlobales.pdf
- Salazar, J. I. C., & García, M. O. C. (2020). La protección de Áreas Naturales Protegidas federales en México: Relación entre los “burócratas de a pie” y la superficie territorial de las ANP. *Sociedad y Ambiente*, (22), 22–47. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2073>
- Villegas Martínez, D., & Gómez Demetrio, W. (2020). Procesos locales de transformación que detonan el cambio de uso de suelo y vegetación en un área natural protegida de la Región Centro de México. *Acta Universitaria*, 30, 1–21. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2864>

CAPÍTULO CINCO

VALORES DE CONSERVACIÓN Y AMENAZAS EN CUATRO HUMEDALES BAJACALIFORNIANOS

Dr. Horacio de la Cueva¹

Mtra. Laura Martínez Ríos Del Río²

Resumen

Cuatro humedales del Estado de Baja California: Estero de Punta Banda, Bahía de San Quintín, Laguna Manuela y Bahía de Los Ángeles, todos bajo cuando menos una forma de conservación, son comparados y contrastados sobre su valor de conservación, la Contribución de la Naturaleza a la Gente (CNG o NCP por sus siglas en inglés) y amenazas a través de estudios previos: evaluación rápida de los servicios de los ecosistemas de humedales (RAWES por sus siglas en inglés), valuación económica, potencial de Carbono Azul y microbiota contra ha/CNG. Las características comunes y distintivas resultan en diferentes valores y amenazas de conservación con sus oportunidades de conservación y amenazas de desarrollo. En estos humedales las CNG crean empleos e incentivos de conservación. Los cuatro humedales no tienen inventarios biológicos completos, subestimando sus CNG y biodiversidad. Presentamos herramientas para decisiones de conservación: los humedales más grandes proveen más servicios, los más pequeños más CNG por unidad de área que los más grandes, aumentando su valor de conservación y haciéndolos más atractivos para esfuerzos de conservación. Los valores de conservación y precios trascienden el área total. RAWES permite comparar humedales, pero ignora su área, ha/CNG y la matriz eco-social. El desarrollo aumenta el costo de conservación, mientras que la distancia al desarrollo disminuye el precio. El status de conservación de cada humedal no garantiza su protección o bienestar a largo plazo. Las presiones de desarrollo y el cambio climático pudieran cambiar el valor de conservación y CNG disponibles. El uso de herramientas disponibles con consecuencias legales es la mejor forma de garantizar la protección continua y futura de estos humedales.

Palabras clave: NCP, RAWES, Carbono Azul, manejo de humedales, biodiversidad.

Abstract

Four wetlands in the State of Baja California —Estero de Punta Banda, Bahía de San Quintín, Laguna Manuela, and Bahía de Los Ángeles— all under at least one form of conservation, are compared and contrasted in terms of their conservation value, Nature's Contributions to People (NCP), and threats, based on previous studies: Rapid Assessment of Wetland Ecosystem Services (RAWES), economic valuation, Blue Carbon potential, and microbiota vs. NCP. Their shared and distinctive features result in varying conservation values and threats, presenting both conservation opportunities and development pressures. In these wetlands, NCPs create jobs and conservation incentives. None of the four wetlands has a complete biological inventory, leading to an underestimate of their NCP and biodiversity. We present tools for conservation decision-making: larger wetlands provide more services overall, while smaller wetlands offer more NCP per unit area than larger ones, increasing their conservation value and making them more appealing for conservation efforts. Conservation value and pricing transcend total area. RAWES allows for wetland comparisons but overlooks their size, ha/NCP, and the eco-social matrix. Development increases conservation costs, while distance from development decreases the price. Conservation status does not guarantee long-term protection or the well-being of each wetland. Development pressures and climate change may alter conservation value and available NCPs. The use of available tools with legal implications is the best way to ensure continued and future protection of these wetlands.

Keywords: NCP, RAWES, Blue Carbon, wetland management, biodiversity.

¹ Departamento de Investigación Biología de la Conservación, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE). Correo: cuevas@cicese.mx

² apro Esteros, A.C. Correo: lauramrios@gmail.com

Introducción

Los humedales costeros sanos contribuyen al bienestar, la conservación y las economías local, regional y global. Los humedales son críticos para el sustento humano y el desarrollo sustentable y son áreas prioritarias para conservación. El determinar el valor de un humedal y sus riesgos de conservación son tareas inevitables cuando se planean estrategias de conservación y desarrollo.

Presentamos los resultados de más de diez años de investigación en cuatro humedales costeros de Baja California, demostrando las diferencias en tareas de investigación, amenazas y oportunidades de conservación. Estos humedales disímiles y contrastantes. Estero de Punta Banda (EPB), Bahía de San Quintín (BSQ), Laguna Manuela (LMA) y Bahía de Los Ángeles (BLA) contribuyen al bienestar de los residentes y visitantes de la península, con efectos e implicaciones locales y globales. Estos bien pudieran ser modelos para estudios y conservación en humedales en cualquier otro lugar de México o el mundo. Para mostrar la relevancia e importancia de estos humedales en contextos locales, regionales y globales, presentaremos su estado de conservación utilizando el método RAWES (Evaluación Rápida de los Servicios de los Ecosistemas o Rapid Assessment of Wetland Environmental Services en inglés, McInnes y Everard 2017), sus Contribuciones de la Naturaleza a la Gente (CNG, Nature's Contributions to People, CNG, Pascual et al. 2017), su valor económico y sus amenazas.

Tres de estos humedales se encuentran en la costa del Pacífico de la península de Baja California y son bañados por aguas frías con surgencias: EPB, BSQ y LMA; el cuarto, BLA, se localiza en las aguas más tibias del Golfo de California, donde las surgencias también impulsan la productividad. La Figura 1 muestra su localización. Dos de estos humedales, LMA y BLA, están rodeados por desiertos; EPB y BSQ se encuentran en el clima mediterráneo del noroeste de Baja California. El promedio anual de lluvia del Estado de Baja California es < 300 mm, con pocas fuentes permanentes de agua dulce. Los humedales del Pacífico (Fig. 1) están caracterizados por su salinidad, pastos marinos y planicies de inundación. En el Golfo de California, la característica sobresaliente de BLA es la presencia de *Rhizophora mangle* (manglar rojo, Pacheco-Ruiz et al. 2006).

Los humedales de Baja California proveen recursos de manutención y económicos para las comunidades rurales más cercanas. La península de Baja California, localizada en el noroeste de México, es un área poco desarrollada, con alta biodiversidad y con un conjunto de especies rico en endemismos de ecosistemas áridos en un área de más de 143,390 km². La península estaba despoblada hasta la mitad del siglo XX (Alanis 2001, Arias 2019). La mayoría de las comunidades costeras de Baja California surgieron a partir de 1935 cuando un Decreto Presidencial alentó a los mexicanos que residían en los Estados Unidos y que poblaran la península (Alanis 2001, Arias 2019). Los asentamientos en BSQ, LMA y BLA son un resultado directo de las Contribuciones de la Naturaleza a la Gente (CNG, Pascual et al. 2017) que estos humedales proveyeron a los pobladores. Los primeros pobladores y sus descendientes protegen a los humedales como su hogar y principal fuente de ingresos. Los ecosistemas marinos también son vitales para la seguridad alimentaria de comunidades costeras en países en desarrollo, proveyendo criaderos y áreas pesqueras para pesquerías artesanales (Laffoley y Grimsditch 2009).

Las CNG (Pascual et al. 2017) van más allá de los servicios ecosistémicos al abarcar explícitamente conceptos asociados con otras cosmovisiones en las relaciones humano-naturaleza y los sistemas de conocimientos (Díaz et al. 2015). Las CNG también son canales entre la naturaleza y una calidad de vida buena (Pascual et al. 2017). Las CNG producen energía y materiales, crean condiciones para que existan actividades recreativas y proveen beneficios como control de la contaminación, regulación biológica y protección de inundaciones. Las CNG también han ofrecido un sentido de identidad a las personas que viven en estos humedales. Otras CNG provistas por los humedales son oportunidades para educación, ciencia y monitoreo de la calidad ambiental y el cambio climático.

Exploramos el valor y futuro de conservación de estos humedales usando métodos tradicionales de evaluación, RAWES (McInnes y Everard 2017), las CNG (Pascual et al. 2017), su potencial como sumideros de Carbono Azul (Howard et al. 2014), como proveedores de productos derivados de la microbiota (p. ej. Basak et al. 2015, Sahoo y Dahl 2009) y como sitios de bienestar para megafauna acuática (Sievers et al. 2019).

Presentamos una nueva métrica independiente, el área de un humedal con CNG. Esta es una métrica que ayudará a establecer el valor de un humedal como proveedor de CNG y permitirá las comparaciones entre humedales de cualquier tamaño.

El valor ambiental de los humedales sigue sin ser completamente reconocido. Cuando menos 35% de los humedales han sido perdidos desde 1970, una tasa de pérdida mayor que la de bosques (Ramsar 2018), convirtiendo a los humedales en un componente crítico del millón de especies cuya pérdida es predicha por el reporte de 2019 de IPBES (Díaz et al. 2019). McInnes et al. (2020) brindan un reporte del estatus de los humedales a través de una encuesta de ciencia ciudadana. Sus resultados muestran que los países con economías emergentes están subrepresentados en las valuaciones de humedales.

Usamos una valuación que incluye beneficios de mercado y otros para demostrar, como Finlayson et al. (2005), que el valor económico de humedales intactos es mucho más significativo que el de humedales modificados. Siguiendo este razonamiento, este capítulo enfatiza el valor de aquellos humedales principalmente prístinos.

Davidson et al. (2019) reestimaron los valores monetarios de 2011 de los servicios ecosistémicos de humedales naturales. En precios de 2011, los humedales costeros contribuían con el 43.1% del valor global total de los servicios ecosistémicos de todos los biomas naturales. Se estima que los humedales costeros constituyen solamente el 15% de todos los humedales naturales (Davidson y Finlayson, 2019). Los manglares, las planicies de inundación sin vegetación, las praderas de pastos marinos y los estuarios contribuyen al 45% del valor monetario de estos humedales naturales.

Varios estudios sugieren que la diversidad biológica es más alta en los humedales que en las aguas a su alrededor, proveyendo hábitats a vertebrados e invertebrados en diferentes etapas de su ciclo de vida (Galindo-Bect et al. 2000), corredores biológicos y hábitat invernal para aves migratorias (Eddleman et al. 1988, Fernández et al. 2001).

La calidad de los humedales de todo el mundo está amenazada por drenajes, contaminación, especies invasoras, uso insustentable, regímenes de flujo interrumpidos y cambio climático. Una cuarta parte de las especies de los humedales están en riesgo de extinción (Ramsar 2018). La conservación e integridad de los humedales compiten con desarrollos urbano e industrial, manejo de residuos y cambio climático global. Los humedales costeros de este estudio están rodeados por paisajes deseables que pueden ser modificados fácilmente por la intervención humana. Una disminución en la cantidad o calidad de CNG después de la intervención o negligencia es una preocupación importante para las partes interesadas en el valor de conservación de los humedales.

El hecho de que muchos humedales son paisajes deseables para el desarrollo impulsa su evaluación como paisajes naturales que deben ser conservados. La evaluación y comparación de sus valores requiere métodos de evaluación de sus valores con métodos cuantitativos y cualitativos heurísticos y reproducibles. Estos deben ser utilizados para demostrar y comparar los costos y beneficios ambientales y monetarios. Las características naturales y las CNG deben presentar un buen caso de defensa contra su conversión o desaparición. Estas evaluaciones también deben enfatizar el valor del humedal, ya sea como un área prístina dedicada a la conservación y proveedora de CNG libre de la extracción insustentable de recursos o como un paisaje manejado sustentablemente con beneficios a sus habitantes locales y más allá.

Materiales y métodos

Este capítulo resume investigación previa y usa literatura reciente incorporando e identificando las CNG no consideradas anteriormente en la evaluación de humedales. El reporte de Pro Esteros y Enríquez-Andrade (2010) es nuestra fuente primaria de información; un reporte detallado que mezcla comparaciones, ya que usa métricas diferentes en cada sitio. Para resolver este problema usamos RAWES (Evaluación Rápida de los Servicios de los Ecosistemas McInnes y Everard 2017) para reevaluar los humedales y proveer un método de evaluación rápido y estandarizado; el cuadro resultante es usado como una guía para informar conclusiones. Utilizamos las designaciones mexicanas e internacionales actuales para determinar el nivel de protección y conservación de cada humedal. La información disponible para los cuatro humedales es heterogénea en detalle y tiempos, lo que se refleja en nuestros resultados.

Los cuatro humedales estudiados son presentados e investigados de Norte a Sur y Oeste a Este: Estero de Punta Banda (EPB), 3,733 ha; 31°44' N 116°38' W, en la costa del Pacífico 28 km al sur de Ensenada (pob. 500 000), rodeado de un medio urbano y agrícola de desarrollo rápido. Bahía de San Quintín (BSQ), 24,622 ha, 30° 25' 34" N, 115° 59' 4" W, en la costa del Pacífico, 233 km al sur de Ensenada, adyacente a tierras de conservación privadas y con una industria de ostricultura amenazada pero saludable. Laguna Manuela (LMA), 1670 ha, 28°6' 58" N, 114° 3' 18" W, en la costa del Pacífico en el límite sureño del Estado de Baja California. Finalmente, cuatro humedales pequeños, Las Cahuamas, La Gringa, La Mona y El Rincón en Bahía de Los Ángeles (BLA), 893 ha, 28° 57' 6" N, 113° 33' 44" W, que son integrados en una unidad de análisis. BLA está localizada 540 km al sureste de EPB en el Golfo de California. Para la localización de los humedales ver la Figura 1.

Las CNG recién descubiertas o cuantificadas, como las propuestas Fennessy et al. (2007) y McInnes y Everard (2017), deben ser incorporadas a la evaluación de los humedales. El Carbón Azul (Howard et al. 2014) ha sido propuesto como una contribución esencial provista por los manglares tropicales (p. ej. Locatelli et al. 2014, Wylie et al. 2016) mediante el secuestro de carbono en la biomasa de plantas y en el suelo; esta función es poco entendida en los hábitats de pastos marinos templados como EPB y BSQ. Se evalúan más valores ecosistémicos, farmacéuticos y monetarios cuando se explora la microbiota asociada con los ecosistemas de manglares (p. ej. Basak et al. 2015, Sahoo y Dahl 2009). Sievers et al. (2019) discuten el papel de humedales de aguas tropicales con vegetación para la conservación de megafauna marina.

Evaluamos la importancia de los humedales considerando: 1) Las CNG actuales e identificables que cada humedal provee y 2) la relación entre el tamaño del humedal y el número de CNG que provee, cuantificado como ha/CNG.

Los datos para los valores de conservación de los cuatro humedales fueron obtenidos de sitios en la red y publicaciones. Las fuentes mexicanas son la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) contra la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO). Las fuentes internacionales consultadas son Ramsar y la Western Hemisphere Shorebird Reserve Network (WHSRN).

RESULTADOS

La costa de Baja California es heterogénea; sus humedales son refugios y criaderos para la vegetación y las faunas locales y migratorias. El nivel de protección, el valor total, valor por ha y CNG están resumidos en la Figura 2.

El estado de conservación de los cuatro humedales se muestra en la tabla 1, todos están bajo cuando menos un esquema de conservación. La tabla 2 incluye el valor monetario total en dólares de los EE UU, calculado por humedal y por ha. para una CNG dada. Los resultados RAWES se presentan en la tabla 3.

Los humedales costeros de la costa del Pacífico de Baja California son un refugio y fuente de alimento para *Eschrichtius robustus* (ballena gris) durante su migración, nacimientos y reproducción. Esos humedales también alojan aves a lo largo de la ruta migratoria del Pacífico.

Estero de Punta Banda

El Estero de Punta Banda (EPB) tiene gran belleza natural y amenidades de recreación, un área residencial afluyente, comunidades agrícolas y pesqueras y asentamientos irregulares. Es hogar de flora y fauna marina y terrestre, funcionando como criadero para varias pesquerías y otros animales acuáticos (Rosales-Casián y Hamman 1994). Nishikawa (1983) reconoció la importancia de EPB como un hábitat de aves migratorias.

El ciclo de dos mareas diarias en el Estero de Punta Banda cicla agua y nutrientes entre el estuario y la Bahía de Ensenada. El flujo de agua crea hábitats ricos y fuentes de alimento, proveyendo lugares de crianza e impacto regional en la diversidad genética. La masa bioexplotable es usada como fuente de alimentación directa a través de pesquerías artesanales y de subsistencia. Las especies pescadas incluyen *Paralichthys californicus* (lenguado de California) y almejas. EPB pudiera estar contribuyendo a las pesquerías de las aguas abiertas adyacentes (Rosales-Casián y Hamman 1994).

Otras especies explotadas comercialmente son los bivalvos y las galletas de mar, vendidas en diferentes mercados de Ensenada. *Neotrypaea (Callinasa) californensis* (camarón fantasma de California) es usado como carnada de pesca. La recreación es una CNG importante dadas las distancias de viaje cortas entre la ciudad de Ensenada y EPB y de menos de 150 km de las dos ciudades grandes más cercanas, Tijuana, Baja California, y San Diego, California. La pesca deportiva es la actividad extractiva más común, mientras que los deportes acuáticos, recreación en la playa, senderismo y observación de la naturaleza son las actividades no extractivas mejor conocidas. EPB también provee CNG a través de protección y regulación con su barra de arena externa, paisajes y valor estético. BSQ es sujeto de investigación por instituciones de investigación y de educación nacionales y extranjeras y OOSC. Ambas actividades constituyen un uso directo no extractivo de EPB (Barbier et al. 1997).

Bajo RAWES, EPB es una fuente importante de productividad primaria con impactos regionales y globales. EPB es una parte integral del Corredor del Pacífico de aves migratorias y el hogar de varias especies amenazadas en la región. Es un refugio para aves amenazadas como *Rallus obsoletus levipes* (rascón costero del Pacífico) y *Laterallus jamaicensis coturniculus* (polluela negra del Pacífico). El área es un sumidero potencial de Carbono Azul por la gran cantidad de pastos marinos y su fondo no perturbado.

Estero de Punta Banda (EPB) está rodeado por desarrollos urbanos, industria y agricultura; por lo tanto bajo amenaza constante de desarrollo por bienes raíces y amenazado por actividades humanas como la destrucción de hábitats marinos y terrestres y vegetación y la introducción de plantas invasores y exóticas y fauna feral.

Bahía de San Quintín

Bahía de San Quintín (BSQ) es reconocida en México como un región costera y marina prioritaria (Arriaga et al. 2000, Arriaga Cabrera et al. 1998) y un sitio importante para aves migratorias (CONABIO 2002), incluyendo la población invernal más importante de *Branta bernicla* (ganso de collar). BSQ también es reconocida por su biodiversidad dentro de los ecosistemas californianos. Existen dos áreas de conservación privadas bajo el esquema de CONANP de Área Dedicada Voluntariamente a la Conservación (ADVC, <https://advc.conanp.gob.mx/>) que protegen grandes extensiones de los humedales de BSQ —<https://terrapeninsular.org/en/work-areas/#san-quintin>—

La productividad biológica dentro de la laguna es el resultado de surgencias de las aguas costeras que proveen tanto nutrientes inorgánicos como materia orgánica (Camacho-Ibar et al. 2007). La CNG más importante

de BSQ es la productividad biológica ya que existe acuacultura de *Crassostera gigas* (ostión japonés), *Mytilus edulis* (mejillón) y *Ruditapes philippinarum* (almeja manila) (Aguirre-Muñoz et al. 2001).

Las escorrentías de la agricultura en campo y los invernaderos con irrigación amenaza la integridad de los humedales; los cultivos más importantes son tomates y *frutos rojos*, principalmente para exportación a los EE UU. La demanda agrícola de agua es tanta que se han instalado plantas desalinizadoras, algunas ilegalmente, derramando sus amargos a BSQ.

Ávila López et al. (2019) sugieren que BSQ es una fuente continua con variaciones estacionales de CO₂ a la atmósfera, como se espera de cuencas poco profundas templadas, pero no hay evidencia científica publicada, en contraste, Herrera-Silveira et al. (2019) postulan que BSQ es un sumidero de Carbono Azul.

La biomasa explotable de BSQ es usada para pesquerías comerciales, artesanales y de subsistencia tanto para peces (Rosales-Casián 1996) como para invertebrados (Barnard 1964, Griffis y Chavez 1988, Quiroz-Vázquez 2002, The Nature Conservancy 2007). La recreación en BSQ se da por la extracción de bienes del ambiente por la caza de ganso branta (Pacífico Flyway Council 2002) o pesquería deportiva (Kelly y Kira 1998).

Las CNG de actividades recreativas de observación de la naturaleza —principalmente de aves endémicas, residentes y migratorias—, deportes acuáticos, actividades de senderismo y visitas a la playa. Las aguas someras y hábitats de frente de playa biológicamente ricos proveen sitios de internación para el ganso branta y muchas otras especies de aves playeras y de marisma. Es un refugio para aves amenazadas como *Rallus obsoletus levipes* (rascón costero del Pacífico) y *Laterallus jamaicensis coturniculus* (polluela negra del Pacífico); la ballena gris es un visitante invernal común. *Dipodomys gravipes* (rata canguro de San Quintín), supuestamente extinta, fue redescubierta recientemente (Tremor et al. 2018).

Las CNG estéticas de BSQ son el atractivo de sus paisajes volcánicos. BSQ ha inspirado libros de prestigio internacional, p. ej. *The flight of the Least Petrel* de G. Bancroft (1932).

La oceanografía del área ha impulsado la investigación de las lagunas costeras y ha atraído la atención de investigaciones nacionales e internacionales. Es sujeto de investigación por instituciones de investigación y educación nacionales y extranjeras y OOSC. Ambas actividades constituyen un uso directo no extractivo de BSQ (Barbier et al. 1997).

La productividad de BSQ dio lugar al uso de sus recursos locales como una fuente de alimento a nativos locales y seminómicos, dejando evidencia en los *concheros*, tiraderos de conchas, presentes en el área. Los *concheros* fueron usados para alimentación, defensa y protección, dándonos una visión a las condiciones pretéritas de la bahía. Otros dos valores del paisaje son sus artefactos arqueológicos, con más de 290 sitios identificados (Moore 2001) y una mina de sal de tiempos de la colonia (Martínez-Fragoso 1992). La diversidad de CNG ha dado origen a la Cooperativa Los Volcanes, una proveedora de servicios exitosa comercialmente.

Bajo RAWES, BSQ es una fuente importante de productividad primaria con impacto regional. Su régimen de mareas intercambia agua y nutrientes con el Océano Pacífico. La circulación de agua dentro de BSQ promueve la productividad primaria. Se puede estar almacenando Carbono Azul, principalmente en *Zostera marina* un pasto marino abundante. BSQ también es criadero de pesquerías locales y provee recursos genéticos para pesquerías y especies endémicas terrestres y acuáticas. La integridad de los humedales está amenazada por la extracción ilegal e irregular de canto rodado usado para decoración de casas y jardines y muy posiblemente transportado como contrabando fuera del país. La mala regulación de los productos volcánicos y desechos de las pesquerías amenazan la salud de BSQ. Los problemas de sedimentación actuales también amenazan a los humedales y a la industria de acuacultura que provee a mercados nacionales e internacionales.

Laguna Manuela

Laguna Manuela (LMA) es somera y de forma irregular de aproximadamente 20 km de largo y 3 de ancho con una superficie de 60 km², está formada por canales y caletas que se comunican al océano por dos bocas (Sicard et al. 2006). Junto con otras dos lagunas costeras, Ojo de Liebre y Guerrero Negro, LMA es parte del “Complejo Lagunar Ojo de Liebre-Guerrero Negro”. LMA sigue siendo uno de los humedales más prístinos, aislados y menos estudiados del noroeste de México (Pro Esteros y Enríquez-Andrade 2010). LMA tiene gran valía ecológica y socioeconómica con GNC intrínsecas y existentes dada su importancia como un sitio de internación y reproducción de la ballena gris, *Zalophus californianus* (lobo marino de California), *Mirounga angustirostris* (elefante marino del norte) y un número significativo de aves marinas; se han visto tortugas verdes dentro de la laguna (CONANP 2016, UNESCO 2016). Su condición como el humedal más aislado de los cuatro bajo estudio potencial para su conservación.

Las CNG del LMA son resultado del crecimiento de fitoplancton, producto de sus áreas someras, el flujo de surgencias costeras ricas en nutrientes y la concentración elevada de detritus como una fuente de alimento para los moluscos que ocurren naturalmente y los de cultivo (Hernández-Alfonso et al. 2007). Las especies de moluscos que se saben cultivadas son *Nudipecten subnudosus* (garra o mano de león) y ostión japonés (Sicard et

al. 2006). La productividad del agua es tan alta que no se requiere alimentación suplementaria para la acuacultura. Las mareas y el agua generan corrientes que remueven los desperdicios de la acuacultura; las comunidades bénticas disponen de los desperdicios que llegan al fondo. *Megapitaria squalida* (almeja chocolate) es explotada comercialmente con ≈ 5 ton/año. La extracción de peces es de ≈ 51 ton/año. La concha extraída es utilizada para decoración y como un aporte a la acuacultura de bivalvos. Las CNG recreativas son campamentos independientes, visitas a la playa, senderismo y observación de vida silvestre —incluyendo observación de ballenas y kayak (Pro Esteros y Enríquez-Andrade 2010). La pesca deportiva se lleva a cabo desde embarcaciones menores o en la costa (Kelly y Kira 1998). Los pescados incluyen *Paralabrax maculatofasciatus* (cabrilla arenosa), *Umbrina roncadore* (berrugeta aleta amarilla), *Cynoscion parvipinnis* (corvina aleta corta), *Menticirrhus undulatus* (berrugata californiana o del Pacífico) y *Paralichthys californicus* (lenguado, Cívico Collados 2016, Enríquez-Andrade et al. 2007, Santana-Morales 2008). Se reportó un campamento pesquero en la boca norte de la laguna (Enríquez-Andrade et al. 2007).

Bajo RAWES, LMA es de importancia global para la regulación del clima a través de la posible captura de Carbono Azul en sus pastos marinos y provisión de hábitat para grandes vertebrados en el complejo lagunero de Laguna Ojo de Liebre.

Bahía de Los Ángeles

Los sistemas de humedales de Bahía de Los Ángeles se encuentran dentro de un “hotspot” de biodiversidad (Enríquez-Andrade et al. 2005). BLA ha sido considerada como un área de prioridad de conservación en la península de Baja California (Enríquez-Andrade y Danemann 1998). BLA se encuentra dentro de la Región Oceanográfica V del Golfo de California (Santamaría-del-Ángel et al. 1994), donde los nutrientes superficiales y la concentración total de CO_2 son altos durante todo el año; por lo tanto, la productividad primaria es muy alta y casi constante (Millán-Núñez y Yentsch 2000). Dentro de sus características subrayables, BLA tiene un manglar monoespecífico de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) de 2 km² (Pacheco-Ruiz et al. 2006). La presencia de esta especie en BLA es una característica ecológica relevante dada la importancia de los manglares como un hábitat para larvas y juveniles de muchas especies (Aburto-Oropeza et al. 2008, Chapman 1976, Sheridan y Hays 2003 en Morzaria-Luna y Danemann 2008). El manglar también tiene potencial para albergar nuevos productos médicos (p. ej. Basak et al. 2015, Sahoo y Dahl 2009) y ser un sumidero de Carbono Azul (Adame et al. 2018).

Otras especies de plantas presentes en BLA son *Salicornia virginica* y *Monanthochloe littoralis*. Se pueden encontrar grandes extensiones de macroalgas adyacentes a los humedales, las especies dominantes son *Gracilaria lemaneiformes* y *Gracilaria robusta* (Pacheco-Ruiz et al. 1999). La productividad en el área alrededor de BLA es un recurso alimentario importante para *Rhynchodon typus* (tiburón ballena, Cárdenas-Torre 2006, Cárdenas-Torre et al. 2007, Enríquez-Andrade et al. 2002, Low Pfeng 2002), ballenas, delfines y otros cetáceos (Heckel et al. 2007), *Chelonia mydas* (tortuga verde, Seminoff et al. 2002) y aves migratorias (Acosta-Velázquez y Vázquez-Lule, 2009). El área es un lugar confiable para la observación de tiburón ballena (Cárdenas-Torre 2006, Cárdenas-Torre et al. 2007, Low Pfeng 2002).

La economía de BLA es impulsada por CNG, incluyendo aprovisionamiento, estética, historia y recreación. Las CNG apoyan actividades económicas como la pesca deportiva y artesanal, observación de aves, ballenas y tiburón ballena, buceo libre y visitas arqueológicas. Se ha estimado que el 40% de las familias de Bahía de Los Ángeles utilizan el turismo basado en la naturaleza como su única fuente de ingresos (Enríquez-Andrade et al. 2003). Los humedales costeros de BLA se encuentran en un buen estado de conservación, sin especies invasoras y con señales mínimas de impacto antropogénico (Glenn et al. 2006, Morzaria y Danemann 2008).

Bajo RAWES, la productividad primaria derivada de las surgencias del Canal de Ballenas forma un criadero para pesquerías y el hábitat preferido del tiburón ballena. El manglar rojo enano debe ser estudiado para conocer sus adaptaciones genéticas o fenotípicas a hábitats a desiertos adyacentes al océano y para descubrir productos farmacéuticos. La pesca recreacional atrae entusiastas regionales e internacionales; muchas especies marinas son colectadas para acuarios. Rivera Castañeda (2002) demostró que BLA es apreciado por su aislamiento y valor estético como un lugar de recreación preferido. Low Pfeng (2002) demostró la importancia del tiburón ballena como un recurso recreativo. Investigadores y estudiantes contribuyen a la economía local y han provisto conocimientos sobre su oceanografía, biología, economía y uso de recursos.

Resultados generales

No se han publicado inventarios completos de microfauna y vida microbiana para estos sitios, por lo que su biodiversidad está subestimada. A medida que se descubran más CNG, más allá de los identificados por el método RAWES (Cuadro 3), el valor de los paisajes aumentará. Se deben llevar a cabo más estudios en cada humedal utilizando nuevos métodos de valuación para identificar otras CNG.

Discusión

Estos cuatro humedales comparten características. Todos están localizados en una región árida con alta productividad oceánica en sus aguas adyacentes; también muestran características distintivas, p. ej. niveles diferentes de protección y desarrollo y distancias a centros de población. Las diferencias entre estos humedales crean valores de conservación y amenazas diferentes, con sus correspondientes oportunidades de conservación y presiones de desarrollo.

El manejo y conservación de los humedales de la península de Baja California son más sencillos que los de humedales con una cuenca superior continua. Dada la escasa precipitación en la península, la contribución de agua dulce a los humedales es casi nula, por lo que las estrategias de manejo pueden ser restringidas al humedal propio.

El Estero de Punta Banda (EPB) es el humedal más amenazado por la ocupación humana; las autoridades y residentes locales deben hacer cumplir el uso recreativo regulado del área.

Su valor de conservación como hábitat para especies amenazadas, un criadero para pesquerías locales y regionales y su belleza paisajística son las razones más importantes para su protección. La proximidad de la ciudad y el número de visitantes que llegan al área crean una oportunidad para establecer y hacer cumplir reglamentos regulando el desarrollo y uso del lugar, apoyándose en la población, visitantes y autoridades locales, estatales y federales.

Bahía de San Quintín (BSQ) es el humedal mejor conocido y más estudiado de los cuatro. Los esquemas de conservación privados existentes supervisados por la CONANP garantizan un futuro sustentable si las plantas desalinizadoras son reguladas y se mantiene la acuacultura sustentable de bivalvos.

Laguna Manuela (LMA) es el humedal menos visitado y es un área poco explorada de la Reserva de la Biosfera del Desierto del Vizcaíno. LMA es un gran sujeto para lograr desarrollo sustentable. Estudios futuros deben medir el impacto de la acuacultura y otras industrias locales. Las amenazas de desarrollo son mínimas y las recompensas de conservación grandes. Se debe enfatizar el mantenimiento del *status quo*; el aislamiento es la mejor estrategia de conservación.

Los humedales costeros de Bahía de los Ángeles (BLA) están en la Zona de Protección de Flora y Fauna de Valle de Los Cirios; los humedales de las islas están en la Zona de Protección de Flora y Fauna de las Islas del Golfo de California. No es una buena estrategia de conservación tratarlas como unidades de conservación separadas, ya que pudieran traducirse en estrategias de conservación heterogéneas. Sus procesos ecológicos dependen de la oceanografía del Canal de Ballenas y las Grandes Islas y el clima del desierto sonorense. El poblado de Bahía de Los Ángeles es un asentamiento de familias de pescadores, retirados de los EE UU, servidores y funcionarios públicos dedicados a la conservación y sus redes de apoyo. Se considera un destino de naturaleza (Rivera 2002) y pesca (Kelly y Kyra 1998). Es deseable el mantener el sistema de humedales tan prístino como sea posible como una estrategia de conservación que también mantendrá las fuentes de ingreso y razones para visitar el lugar.

Los humedales “tropicales” —de aguas relativamente calientes— como BLA son considerados sumideros de Carbono Azul (Adame et al. 2018, Avila-López et al. 2019, Hernández-Alfonso et al. 2019, Locatelli et al. 2014, Paz-Pellat et al. 2019, Vega-López 2008, Wylie et al. 2016) y criaderos de pesquerías (Aburto-Oropeza et al. 2008). Humedales templados como EPB, BSQ y LMA son considerados fuentes de CO₂ (Ávila López et al. 2019). En sentido estricto, esto los pudiera hacer menos atractivos como una meta de conservación, pero en un sentido de metabolismo ambiental, su productividad exporta compuestos de carbono en la forma de organismos que proveen energía y recursos dentro y fuera de los humedales; el secuestro de CO₂ no debe ser una condición necesaria para garantizar su conservación. Sus CNG y otras características forman gran parte del valor de conservación de estos humedales.

El aumento de la temperatura superficial del mar, la acidez oceánica y la disminución en las corrientes de surgencia afectarán la riqueza de especies, biodiversidad, ecología y comunidades de estos humedales. Sus industrias acuícolas deben estar listas para adaptarse y cambiar a nuevas especies, técnicas y mercados.

Es tentador enfocar los esfuerzos de conservación en los paisajes más grandes y atractivos; otros factores más allá del área total determinan el valor y el precio. Los planes de desarrollo pueden aumentar la dificultad de lograr sitios de conservación, mientras que la distancia a frentes de desarrollo puede disminuirla; ambas son independientes del valor de conservación de un humedal. El uso de herramientas y políticas disponibles que se pueden hacer cumplir son la única forma de garantizar su protección continua y futura.

En el Cuadro 2 se considera una métrica de valuación diferente, basada en el área total y el valor calculado por Pro Esteros y Enríquez-Andrade (2010), considerando el número de ha que se necesitan para incluir las Contribuciones de la Naturaleza a la Gente (CNG). Los humedales más pequeños generalmente empaquetan más CNG por área, aumentando su valor de conservación y aumentando su atractivo como objetos de conservación. Bajo esta métrica, los humedales pequeños son cajitas llenas de joyas y los grandes buffets, dándonos una nueva perspectiva en la evaluación de las características de un área.

Decidir sobre cómo, por quién y por qué un humedal debe ser conservado es un factor multifactorial. La combinación de CNG, amenazas y precios en el mercado debe ser considerada para determinar si la única forma de asegurar el futuro de un humedal como un sitio de conservación es su compra por donantes privados o si hay otras opciones. Los humedales más grandes pueden proveer más CNG, ya que están asociados con paisajes más grandes; sin embargo, los humedales pequeños concentran CNG en áreas más pequeñas.

Los humedales evaluados aquí tienen diferencias en la cantidad, tipo y área de influencia de sus CNG. El entorno urbano y agrícola de EPB, más el conocimiento extensivo de su biología, ecología y amenazas, dan lugar a oportunidades para implementar formas de manejo supervisadas de un humedal crucial para el bienestar de Ensenada. En BSQ industrias sustentables, áreas de conservación privadas adyacentes, alianzas con las comunidades locales y el conocimiento extensivo de su biología, ecología, amenazas y futuro bajo el cambio climático (p. ej. Aguirre Muñoz et al. 2001, Avila López et al. 2019) crean una oportunidad de conservación paradigmática. El aislamiento de tanto LMA como BLA es su mejor característica para su conservación.

Todos estos humedales son destinos recreativos para visitantes locales y globales. EPB y BSQ tienen presiones de desarrollo de bienes raíces; ambos pudieran ser afectados por escorrentías agrícolas durante años húmedos o amargos de desalinizadoras no reguladas. Los problemas de tenencia de la tierra han impedido el desarrollo de bienes raíces en EPB. Afortunadamente, el desarrollo urbano de Ensenada crece al sur y este de EPB. Las plantas desalinizadoras reguladas e ilegales amenazan la integridad de BSQ. Para EPB y BSQ la conversión de humedales para mayor desarrollo agrícola o de bienes raíces reducirá los hábitats de pesquerías al disminuir el frente humedal-orilla del agua. LMA y BLA son más atractivos para el ecoturismo, pero esta industria en desarrollo se debe autorregular para prosperar y mantenerse sustentable (Chávez y de la Cueva 2010).

El análisis de costo-beneficio de manejo basado en CNG debe comparar usos alternativos, potenciando el desarrollo económico sin comprometer el funcionamiento de los ecosistemas.

RAWES provee información comparable entre humedales. Aun así, no toma en cuenta características esenciales como área total, el número de CNG en el humedal o la nueva métrica de ha/CNG y el contexto geográfico y social del humedal.

Para considerar la conservación de un humedal debemos hacernos preguntas como: ¿Es el humedal un área natural con una zona de amortiguamiento? ¿Se pueden superar las amenazas a su existencia presentes y futuras? ¿Son los costos de conservación competitivos con otros usos del área?

Los humedales proveen los CNG que construirán un camino al desarrollo sustentable. El uso de CNG es más sustentable que el destino de humedales para desarrollo humano, generalmente financiado por intereses de alto riesgo u opacos.

Bahía de San Quintín (BSQ), el humedal más grande considerado en este estudio, a pesar del número de CNG descritas, tiene el valor de CNG más pequeño por ha y el área más grande por CNG provista. Los otros tres humedales proveen un valor un orden de magnitud más grande que BSQ.

La corriente de California conecta los tres humedales del Pacífico y los animales que comparten sus aguas en sus migraciones y áreas de invernación. Se sabe menos de las pesquerías y conexiones sociales, invertebrados y usuarios humanos. El ecosistema de humedales de BLA está conectado con los procesos estacionales del Golfo de California. Es un refugio importante para el tiburón ballena, un recurso pesquero y de ecoturismo de importancia mundial.

Conclusiones

A estos humedales se les ha asignado estatus de conservación que refleja su riqueza de especies y biodiversidad, incluyendo el valor de su paisaje (Cuadro 1). Aun así, estos estatus no garantizan su bienestar o protección a largo plazo. Las presiones de desarrollo y el cambio climático pudieran cambiar su valor de conservación y las CNG disponibles.

Las valuaciones muestran que muchas de las CNG de los humedales estudiados están siendo aprovechadas, aunque nos queda estudiar su sustentabilidad. Los estudios por hacerse pudieran descubrir CNG aún no conocidas localmente que agregarán valor, empleos e incentivos de conservación.

Obtuvimos resultados contrastantes al evaluar el número de CNG conocidas en el humedal y el número de CNG por área como una métrica nueva. Estas evaluaciones dan a los dueños de la tierra, usuarios, agencias públicas y privadas de conservación y otras personas interesadas las herramientas para contrastar y comparar

humedales y otras áreas al decidir en una compra de conservación, un plan de desarrollo o al asignar un estatus de conservación.

La gran concentración de aves invernantes en todas las áreas de estudio aumenta el riesgo de transmisión de enfermedades asociadas con aves a la avifauna y ganadería local y a humanos. Una amenaza significativa al EPB es su ahorcamiento por crecimiento agrícola y de bienes raíces, a menos que las autoridades responsables hagan cumplir reglamentos realistas a través del sistema legal mexicano. La mayoría de los humedales de BSQ están protegidos de escorrentías no reguladas y plantas de desalinización ilegales por áreas protegidas privadas y las comunidades nativas locales y de retirados de los EE. UU., la cooperativa de Los Volcanes, las empresas de acuacultura y las pesquerías locales que llevan a cabo medidas de vigilancia local. Sin regulación y supervisión, algunos de estos grupos pudieran amenazar el bienestar de BSQ.

Laguna Manuela (LMA) es el humedal más aislado. Este aislamiento es el mejor seguro para prevenir el desarrollo y garantizar la provisión de CNG. La autorregulación en el uso de CNG debe ser promovida e incentivada.

El complejo de BLA se extiende sobre un área donde la presión de la población es relativamente pequeña. La comunidad local y sus visitantes están regulados en excesos a través de los reglamentos de múltiples áreas de conservación controladas por la CONANP que se superponen a la población. Estos humedales necesitan que se implementen planes de conservación y manejo, que consideren sus características y valores de conservación y las presiones sobre el hábitat que impondrá el cambio climático. La investigación de su potencial como sumideros de Carbono Azul es una prioridad.

Bibliografía

1. Aburto-Oropeza, O., Ezcurra, E., Danemann, G., Valdez, V. J., Murray, J., & Sala, E. (2008). Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(30), 10456–10459. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804601105>
2. Acosta-Velázquez, J., & Vázquez-Lule, A. D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Bahía de los Ángeles. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Ed.), *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO.
3. Adame, M. F., Najera, E., Lovelock, C. E., & Brown, C. J. (2018). Avoided emissions and conservation of scrub mangroves: Potential for a Blue Carbon project in the Gulf of California, México. *Biology Letters*, 14(12), 20180400. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0400>
4. Aguirre-Muñoz, A., Buddemeier, R. W., Camacho-Ibar, V., Carriquiry, J. D., Ibarra-Obando, S. E., Massey, B. W., & Wulff, W. (2001). Sustainability of coastal resource use in San Quintín, México. *Ambio*, 30(3), 142–149. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-30.3.142>
5. Alanís Enciso, F. A. (2001). La colonización de Baja California con mexicanos provenientes de Estados Unidos (1935-1939). *Frontera Norte*, 13(26), 141–163.
6. Arias, P. (2019). Los ejidos en 1935. Diversidad espacial, recursos naturales y organización social. *Sociedad y Ambiente*, 7(20), 153–186. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i20.1997>
7. Arizmendi, M. C., & Márquez-Valdelamar, L. (Eds.). (2000). *Áreas de importancia para la conservación de las aves en México*. CIPAMEX-Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
8. Arriaga, L., Espinoza, J. M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., & Loa, E. (2000). *Regiones prioritarias terrestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html>
9. Arriaga Cabrera, L., Vázquez-Domínguez, E., González-Cano, J., Hernández, S., Jiménez-Rosenberg, R., Muñoz-López, E., & Aguilar-Sierra, V. (1998). *Regiones marinas prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/marinas.html>
10. Ávila López, M. C., Hernández-Ayón, J. M., Camacho-Ibar, V. F., Sandoval-Gil, J. M., & Vargas, R. (2019). Flujos en lagunas costeras: Bahía de San Quintín. En F. Paz-Pellat, J. M. Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos, & A. S. Velázquez-Rodríguez (Eds.), *Estado del ciclo del carbono: Agenda azul y verde* (pp. 207–223). Programa Mexicano del Carbono.
11. Bancroft, G. (1932). *The flight of the least petrel*. Putnam's Sons.
12. Barbier, E. B., Acreman, M. C., & Knowler, D. (1997). *Economic valuation of wetlands: A guide for policymakers and planners*. Ramsar Convention Bureau.
13. Barnard, J. L. (1964). Marine amphipoda of Bahía de San Quintín, Baja California. *Pacific Naturalist*, 4(3), 58–77.
14. Basak, P., Pramanik, A., Sengupta, S., Nag, S., Bhattacharyya, A., Roy, D., & Bhattacharyya, M. (2015). Bacterial diversity assessment of pristine mangrove microbial community from Dhulibhashani, Sundarbans using 16S rRNA gene tag sequencing. *Genomics Data*, 7, 76–78. <https://doi.org/10.1016/j.gdata.2015.11.030>
15. Camacho-Ibar, V. F., Hernández-Ayón, M., Santamaría-del-Ángel, E., Daesslé-Heuser, L. W., & Zertuche-González, J. A. (2007). Relación de las surgencias con los stocks de carbono en Bahía de San Quintín, una laguna costera del NW de México. En B. Hernández-de la Torre & G. Gaxiola Castro (Eds.), *Carbono en ecosistemas acuáticos de México* (pp. 355–370). Instituto Nacional de Ecología, CICESE.
16. Cárdenas-Torre, N. (2006). *Valoración económica de la actividad recreativa con tiburón ballena y su relación con la calidad del hábitat en Bahía de los Ángeles, Baja California* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California.
17. Cárdenas-Torre, N., Enríquez-Andrade, R. R., & Rodríguez-Dowdell, A. N. (2007). Community-based management through ecotourism in Bahía de los Ángeles, México. *Fisheries Research*, 84(1), 114–118. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2006.11.018>
18. Chapman, V. J. (1976). *Mangrove vegetation*. J. Cramer.
19. Chávez, R., & de la Cueva, H. (2010). Un estudio comparativo del mercado de observación de ballenas en México. *Panorama Socioeconómico*, 40, 72–91.
20. Cívico Collados, L. (2016). *Estructura de la comunidad de peces y captura comercial estacional en la Laguna Ojo de Liebre, BCS, México durante 2015-2016* (Tesis de maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).
21. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2016). *Programa de manejo Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre*. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=114®=1>

22. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2002). *Áreas importantes para la conservación de las aves en México (AICAS)*. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicas.html>
23. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
24. Davis, A. M., & Fitzgerald, D. M. (2004). *Beaches and coasts*. Blackwell Science Ltd.
25. De la Cueva, H., & Chávez, R. (2008). Observación de cetáceos en México: Análisis de su marco regulatorio y perspectiva de manejo. *Revista de Biología Tropical*, 56(1), 341–351.
26. Del Moral-Flores, L. F., & García-Rodríguez, F. J. (2013). Nuevos registros de peces para la costa occidental de Baja California Sur, México. *Ciencia Pesquera*, 21(1), 31–40.
27. Escofet, A. (2005). La costa de Baja California: Un laboratorio natural para la conservación. En A. Ortega-Rubio (Ed.), *La costa de Baja California: En la encrucijada del desarrollo* (pp. 13–26). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
28. Escofet, A., & Espejel, I. (1999). Coastal desert wetlands: Their ecology and conservation. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72(4), 493–507.
29. Espejel, I. (1984). *Vegetación de la Bahía de San Quintín, Baja California*. Universidad Nacional Autónoma de México.
30. Espejel, I. (1987). Un análisis sinecológico de la vegetación de la Bahía de San Quintín, Baja California. *Ciencias Marinas*, 13(3), 85–112. <https://doi.org/10.7773/cm.v13i3.493>
31. Espejel, I., & Casas, A. (1999). Los humedales de la península de Baja California: Importancia, manejo y conservación. En J. L. León de la Luz & J. J. Morrone (Eds.), *Diversidad biológica de la península de Baja California* (pp. 395–414). Instituto de Biología, UNAM.
32. Espejel, I., & González-Yajimovich, O. (2014). Coastal lagoons of Baja California: Their biodiversity, importance, and conservation. *Hydrobiologia*, 730(1), 259–282. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1821-3>
33. Ezcurra, E., Aburto-Oropeza, O., Ezcurra, P., & Danemann, G. (2002). *San Quintín: Una bahía excepcional*. Instituto Nacional de Ecología.
34. Ezcurra, E., Bourillón, L., Cantú, C., Martínez, M., & Robles, A. (2009). *La biodiversidad en Baja California: Estudio de Estado*. Gobierno del Estado de Baja California, CONABIO.
35. Figueroa, R., & Ramírez, R. (2015). Turismo de naturaleza en Baja California: Perspectivas y retos. *Turismo y Sociedad*, 16, 45–66. <https://doi.org/10.18601/01207555.n16.03>
36. García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5.ª ed.). Instituto de Geografía, UNAM.
37. García-Hernández, J., & Ortega-Rubio, A. (2009). Importancia biológica de la Bahía de Ulla, Baja California Sur. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(3), 733–741.
38. García-Hernández, J., & Sánchez, M. (2010). Ecología de aves en humedales costeros del Pacífico mexicano. *Hidrobiológica*, 20(2), 123–134.
39. García-Hernández, J., Sánchez, M., & Hernández, C. (2013). Avifauna de la Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*, 23(1), 1–12.
40. García-Martínez, S., & Castillo, M. (2011). Diagnóstico socioambiental de los manglares de la costa occidental de Baja California Sur. *Investigaciones Geográficas*, 76, 89–106.
41. García-Martínez, S., & Hernández, C. (2012). Percepción comunitaria sobre la conservación de humedales costeros. *Sociedad y Ambiente*, 1(1), 53–70.
42. García-Martínez, S., & López, J. (2014). Planificación participativa en áreas naturales protegidas: Experiencias en Baja California Sur. *Región y Sociedad*, 26(61), 219–243. <https://doi.org/10.22198/rys2014/26/61/260>
43. González-Abraham, C., Ezcurra, E., & Garcillán, P. P. (2015). Transformaciones del paisaje en la frontera México-Estados Unidos. *Frontera Norte*, 27(53), 33–61. <https://doi.org/10.17428/rfn.v27i53.773>
44. Guzmán del Próo, S. A. (1992). Diagnóstico ambiental de la costa occidental de Baja California. *Ciencias Marinas*, 18(3), 57–76. <https://doi.org/10.7773/cm.v18i3.936>
45. INEGI. (2000). *Síntesis de información geográfica del estado de Baja California Sur*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
46. INEGI. (2010). *Marco Geoestadístico Nacional*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
47. INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpw/2020/>
48. IUCN. (2017). *IUCN Red List of Threatened Species*. International Union for Conservation of Nature. <https://www.iucnredlist.org>
49. Kovacs, J. M., King, J. M. L., Flores-Verdugo, F., Flores-de-Santiago, F., & Zhang, C. (2010). Evaluating the condition of a mangrove forest of the Mexican Pacific based on an eco-physiological approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 162(1), 141–153. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0787-0>
50. Lara-Lara, J. R., Arreola-Lizárraga, J. A., Camacho-Ibar, V. F., Cervantes-Díaz, G., Gaxiola-Castro, G., Gutiérrez-Mendieta, F. J., ... & Zertuche-González, J. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En J. Soberón, G. Halffter, & J. Llorente-Bousquets (Coords.), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 109–134). CONABIO.
51. León de la Luz, J. L., Coria Benet, R., & Cruz Chávez, J. A. (2012). Diversidad florística de humedales costeros de Baja California Sur. *Botanical Sciences*, 90(2), 111–126. <https://doi.org/10.17129/botsci.414>
52. León de la Luz, J. L., Pérez Navarro, J. J., & Breceda Solís, A. (1999). Flora y vegetación de la Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana*, 47, 59–88. <https://doi.org/10.21829/abm47.1999.878>
53. Lluch-Cota, S. E., Aragón-Noriega, E. A., Arreguín-Sánchez, F., Auriol-Gamboa, D., Bautista-Romero, J. J., Brusca, R. C., ... & Sierra-Beltrán, A. P. (2007). The Gulf of California: Review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in Oceanography*, 73(1), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2007.01.013>
54. Lozano, H., & Ortega-Rubio, A. (1997). Evaluación ecológica de la zona costera de Bahía Magdalena, Baja California Sur. *Revista de Biología Tropical*, 45(3), 1125–1133.
55. Magaña, V., & Conde, C. (2000). Climate and freshwater resources in northern Mexico: Climatic scenarios and socioeconomic projections. *Climatic Research*, 14(2), 117–125.
56. Maldonado, J., & Villaseñor, J. L. (2015). Riqueza de especies de plantas vasculares en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(1), 27–83. <https://doi.org/10.7550/rmb.41800>
57. Massó i Alemany, S., & Espejel, I. (2017). Percepción de los servicios ecosistémicos de humedales en comunidades costeras de Baja California. *Sociedad y Ambiente*, 5(13), 91–113. <https://doi.org/10.31840/sya.v0i13.1785>
58. Mellink, E., Palacios, E., & González, S. (1996). Notes on the birds of El Vizcaíno Biosphere Reserve, Baja California Sur, México. *Western Birds*, 27(1), 41–48.
59. Mendoza-Salgado, R. A., & Rodríguez-Estrella, R. (2000). Diversidad de aves en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur. *Revista de Biología Tropical*, 48(2), 407–420.
60. Morzaria-Luna, H. N., Castillo-López, A., Danemann, G., & Turk-Boyer, P. (2014). Conservation strategies for coastal wetlands in the Gulf of California. *Ocean & Coastal Management*, 87, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.020>
61. NOM-022-SEMARNAT-2003. (2003). *Que establece las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de los humedales costeros en zonas de manglar*. Diario Oficial de la Federación, 10 de abril de 2003.
62. Ocampo, D., & Ledesma, R. (2010). Turismo alternativo y desarrollo comunitario en Baja California Sur. *Gestión Turística*, 13, 75–96.

63. Olmos Martínez, E., & Lluch Cota, D. B. (2003). Turismo y desarrollo sustentable en la costa occidental de Baja California Sur. *Frontera Norte*, 15(30), 125–152. <https://doi.org/10.17428/rfn.v15i30.1300>
64. Ortega-Rubio, A., & Castellanos-Vera, A. (1994). Evaluación ambiental de la zona costera de Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 20(2), 211–231. <https://doi.org/10.7773/cm.v20i2.932>
65. Ortega-Rubio, A., Lluch-Belda, D., & Escofet, A. (1998). La zona costera de Baja California Sur: Diagnóstico ambiental y lineamientos para su manejo. *Revista de Biología Tropical*, 46(5), 785–793.
66. Ortega-Rubio, A., & Uriel, E. (2010). Desarrollo sustentable en comunidades costeras: Retos y perspectivas. *Sociedad y Ambiente*, 2(1), 33–47.
67. Padilla, E., & López, R. (2016). Pesca ribereña y conservación en la costa occidental de Baja California Sur. *Región y Sociedad*, 28(66), 57–84. <https://doi.org/10.22198/rys.2016.66.a289>
68. Palacios, E., & Mellink, E. (2007). The importance of coastal wetlands for waterbirds in northwestern Baja California, Mexico. *Waterbirds*, 30(1), 51–64. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2007\)030\[0051:TIOCWF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2007)030[0051:TIOCWF]2.0.CO;2)
69. Peterson, M. S., & Whitfield, A. K. (2000). Do nearshore habitats function as nurseries? An example from estuarine systems. *Marine Ecology Progress Series*, 201, 1–11. <https://doi.org/10.3354/meps201001>
70. Ramos, J., & Morales, L. (2011). Turismo, pesca y conservación en comunidades costeras de Baja California Sur. *Turismo y Sociedad*, 9(2), 89–108.
71. Reyes-Bonilla, H., López-Pérez, A., & Carballo, J. L. (2005). Los arrecifes coralinos de México. En A. J. Sánchez & E. Vázquez-Domínguez (Eds.), *Ecosistemas de México* (pp. 199–220). INE-SEMARNAT.
72. Riosmena-Rodríguez, R., Paul-Chávez, H., Serviere-Zaragoza, E., & León-Álvarez, D. (2010). Ecosystem-based management and conservation of macroalgae in the Gulf of California. *Botanica Marina*, 53(2), 151–162. <https://doi.org/10.1515/BOT.2010.024>
73. Rodríguez-Estrella, R. (2007). Avifauna de Baja California Sur: Riqueza, endemismo y conservación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(3), 495–518.
74. Romero, J. (2002). Desarrollo turístico y medio ambiente en la región Pacífico Norte de México. *Investigaciones Geográficas*, 47, 23–45.
75. Sala, E., Aburto-Oropeza, O., Paredes, G., Parra, I., Barrera, J. C., & Dayton, P. K. (2002). A general model for designing networks of marine reserves. *Science*, 298(5600), 1991–1993. <https://doi.org/10.1126/science.1075284>
76. Salinas-Zavala, C. A., Lluch-Cota, D. B., & Lluch-Cota, S. E. (2003). Variabilidad climática y recursos marinos en Baja California Sur. *Atmósfera*, 16(3), 193–210.
77. SEMARNAT. (2006). *Programa de ordenamiento ecológico marino del Golfo de California*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
78. SEMARNAT. (2013). *Programa de manejo de zonas costeras de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
79. SEMARNAT. (2016). *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México y plan de acción 2016–2030*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/semarnat>
80. Spalding, M., Kainuma, M., & Collins, L. (2010). *World atlas of mangroves*. Earthscan.
81. Turner, R. E., & Lewis, R. R. (1997). Hydrologic restoration of coastal wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 4(2), 65–72. <https://doi.org/10.1007/BF01876229>
82. Valdez, V. J., Troyo-Diéguez, E., Ortega-Rubio, A., & Hernández, A. (2008). Conservación y uso sustentable de humedales en el noroeste de México. *Interciencia*, 33(7), 486–493.
83. Vázquez-León, M., & Liverman, D. (2004). The political ecology of land-use change: Affluent ranchers and destitute farmers in northwestern Mexico. *Human Organization*, 63(1), 21–33. <https://doi.org/10.17730/humo.63.1.m4p7a0r4wv25p47p>
84. Velázquez-Salazar, S., & Enríquez-Andrade, R. (2012). Gobernanza ambiental y manejo de recursos naturales en Baja California Sur. *Región y Sociedad*, 24(55), 215–243. <https://doi.org/10.22198/rys2012/24/55/268>
85. Villalobos-Zapata, G. J., & Mendoza, B. (2010). *La biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. Gobierno del Estado de Campeche, CONABIO.
86. Villarreal-Cavazos, D., & Ortiz-Pérez, M. A. (2007). Impactos del cambio climático en zonas costeras de México. *Investigaciones Geográficas*, 62, 65–78. <https://doi.org/10.14350/rig.30119>
87. Vogt, R. C., & Flores-Villela, O. (1992). *Herpetofauna Mexicana: Lista anotada de las especies de anfibios y reptiles de México, cambios taxonómicos recientes y nuevas especies*. Carnegie Museum of Natural History.
88. Walters, B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussain, S. A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E., & Dahdouh-Guebas, F. (2008). Ethnobiology, socio-economics and management of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 220–236. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2008.02.009>
89. Zertuche-González, J. A., Pacheco-Ruiz, I., Macías-Carranza, V., Cabello-Pasini, A., Torres-Moye, G., López-Calderón, J. M., ... & Espinoza-Avalos, J. (2009). The role of Ulva spp. as a temporary nutrient sink in coastal lagoons of the Gulf of California. *Journal of Applied Phycology*, 21(5), 677–686. <https://doi.org/10.1007/s10811-008-9408-9>

Anexos

Tabla 1. Estatus de conservación de cuatro humedales de Baja California.

Humedal	Categoría de Áreas Naturales Protegidas	Ramsar	WHSRN	AICA
EPB		1604	Regional	14
BSQ	ADVC	1775	Regional	13
LMA	Reserva de la Biósfera de UNESCO	1339	Hemisférica	12
BLA	ZPFF	1595		84
Notas: Estero de Punta Banda (EPB), Bahía de San Quintín (BSQ), Laguna Manuela (LMA) y el complejo de Bahía de Los Ángeles (BLA). Categorías de Áreas Naturales Protegidas: ADVC = Área Destinada Voluntariamente a la Conservación. ZPFF = Zona de Protección de Flora y Fauna. Número de Sitio Ramsar. Categoría de Western Hemisphere Shorebird Reserve Network (WHSRN). Número de Área Importante para la Conservación de las Aves (AICA). number (Arizmendi y Marquez-Valdemar 2000, Important Bird Areas).				
Fuente: Elaboración propia.				

Tabla 2. Area (ha), valor estimado de los sistemas ecosistémicos y ha/CNG para cuatro humedales de Baja California.

Humedal	Area (ha)	Valor total (USD)	Valor/área (USD/ha)	Contribuciones de la Naturaleza a la Gente (CNG)	ha/CNG
EPB	3,733	8,128.00	2.18	25	149
BSQ	24,622	8,741.00	0.36	27	912
LMA	1,670	3,769.00	2.26	18	209
BLA	893	3,806.00	4.26	21	43
Notas: Estero de Punta Banda (EPB), Bahía de San Quintín (BSQ), Laguna Manuela (LMA) y el complejo de Bahía de Los Ángeles (BLA). Valor total de Pro Esteros y Enríquez-Andrade (2010).					
Fuente: Elaboración propia.					

Tabla 3. Resumen de la evaluación RAWES para cuatro humedales en Baja California

												Suma Total
Aprovisionamiento												
	Alimento	Combustible	Recursos genéticos	Ornamentos	Medicina natural	Eliminación de residuos						
EPB	2	*	2	*	*	2						6
BSQ	2	*	3	3	2	1						11
LMA	1	2	1	*	*	1						4
BLA	2	*	3	2	*	1						8
Regulación												
	Calidad del aire	Clima local	Clima mundial	Hídrica	Inundación	Tormentas	Erosión	Calidad del agua	Polinización	Salinidad	Barreras visuales acústicas	
EPB	2	1	3	1	1	1	2	2	1	1	1	16
BSQ	2	2	3	2	2	2	2	2	1	1	2	21
LMA	*	1	3	*	*	1	1	1	*	*	*	7
BLA	1	1	3	*	1	2	2	*	1	1	1	13
Culturales												
	Patrimonio cultural	Recreación y turismo	Valor estético	Inspiración	Relaciones sociales	Investigación y educación						
EPB	1	3	2	2	3	3						14
BSQ	3	3	2	3	3	3						17
LMA	*	1	1	2	1	1						6
BLA	*	3	3	3	*	3						12
Apoyo												
	Formación de suelos	Producción primaria	Ciclo de nutrientes	Ciclo del agua	Provisión de hábitat							
EPB	1	2	2	2	3							10
BSQ	2	3	2	2	3							12
LMA	*	2	1	1	3							7
BLA	1	2	2	*	3							8
Notas: Estero de Punta Banda (EPB), Bahía de San Quintín (BSQ), Laguna Manuela (LMA) y el complejo de Bahía de Los Ángeles (BLA). Escala de beneficios: Local = 1, Regional = 2, Global = 3 Se incluyen servicios provistos en cuando menos un humedal. McInnes and Everard (2017)												
Fuente: Elaboración propia.												



VALORACIÓN ECONÓMICA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS FEDERALES DE MÉXICO

INTRODUCCIÓN

APUNTES PARA MÉXICO

Dr. Carlos Andrés López Morales¹

La valoración económica de los servicios ecosistémicos se ha consolidado en las últimas décadas como una iniciativa de alcance global, impulsada por un notable auge tanto en la literatura académica como en la institucional, especialmente desde las dos últimas décadas del siglo XX. Con el inicio del nuevo milenio, surgieron diversos esfuerzos por sistematizar conceptos, objetivos y métodos, lo que dio lugar a un cierto grado de estandarización que definió el papel de la valoración, sus principales metodologías y su relación con los procesos naturales y socioeconómicos subyacentes (De Groot et al., 2002). En este marco conceptual, los bienes y servicios ambientales objeto de valoración pueden abarcar desde elementos claramente definidos y medibles incluso con precios de mercado, como ocurre con la producción agrícola o de energía hasta componentes menos tangibles y observables, cuya incidencia en la economía es más indirecta, como la influencia de las coberturas del suelo sobre la hidrología o los climas locales y globales.

Una característica fundamental de los estándares actuales de valoración es la organización de la amplia gama de bienes y servicios ambientales en las cuatro categorías de funciones ecosistémicas ampliamente reconocidas: provisión, regulación, hábitat o soporte, y culturales o de información (De Groot et al., 2012; EEM, 2005). Cabe señalar que estas categorías no pretenden agotar las complejidades de la estructura y los procesos propios de los ecosistemas, aspectos que siguen siendo objeto de estudio de disciplinas como la biología o la ecología, sino que constituyen un marco analítico antropocéntrico, diseñado para resaltar aquellos componentes con mayor relevancia socioeconómica.

Organizados de este modo, los bienes y servicios ambientales pueden ser objeto de distintos ejercicios de valoración económica orientados a estimar componentes del denominado “valor económico total”. La idea central es que esta valoración permite visibilizar la dependencia de los sistemas económicos respecto de los ecosistemas, aportando información crucial sobre los intercambios, a menudo invisibles, entre la sostenibilidad de los primeros y la integridad de los segundos. Este tipo de información, difícilmente disponible por otras vías, es esencial para fundamentar decisiones más informadas y responsables, tanto en el ámbito de las actividades productivas de mercado como en la formulación e implementación de políticas públicas (Pascual y Muradian, 2012).

Los enfoques basados en las preferencias, además, se apoyan en dos principios fundamentales: el de preferencias reveladas, que consiste en el análisis de las decisiones efectivamente observadas en los mercados y que se relacionan de manera directa o indirecta con los bienes ambientales; y el de preferencias declaradas, que se centra en el estudio de decisiones hipotéticas, formuladas de manera explícita por los individuos en relación con dichos bienes.

La efervescencia literaria en torno a la valoración económica de los servicios ecosistémicos a escala global se refleja en el surgimiento de bases de datos que aprovechan la estandarización previamente comentada para organizar los estudios disponibles con fines de análisis comparativo y de transferencia de beneficios, como ilustra el influyente trabajo de Costanza et al. (2014). Entre estos esfuerzos destaca la Ecosystem Services Valuation Database (ESVD, por sus siglas en inglés), uno de los repositorios más completos actualmente disponibles para el análisis académico y la formulación de políticas públicas (Brander et al., 2024). A diferencia de iniciativas anteriores, la ESVD se actualiza de forma continua para incorporar nuevos estudios siguiendo las clasificaciones estandarizadas de ecosistemas y métodos de valoración, además de armonizar las unidades monetarias reportadas para facilitar la comparabilidad. En su versión más reciente, la ESVD incluye más de 10,000 estimaciones de valor económico derivadas de más de 1,300 estudios realizados a nivel mundial. Para el caso de México, la base reporta 269 estimaciones provenientes de 39 estudios publicados hasta 2023.

¹ Profesor-Investigador del Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México, A.C. Correo: calopez@colmex.mx

Tabla 1. Puntos de valoración económica en ecosistemas mexicanos en la base de datos ESVD (2024)

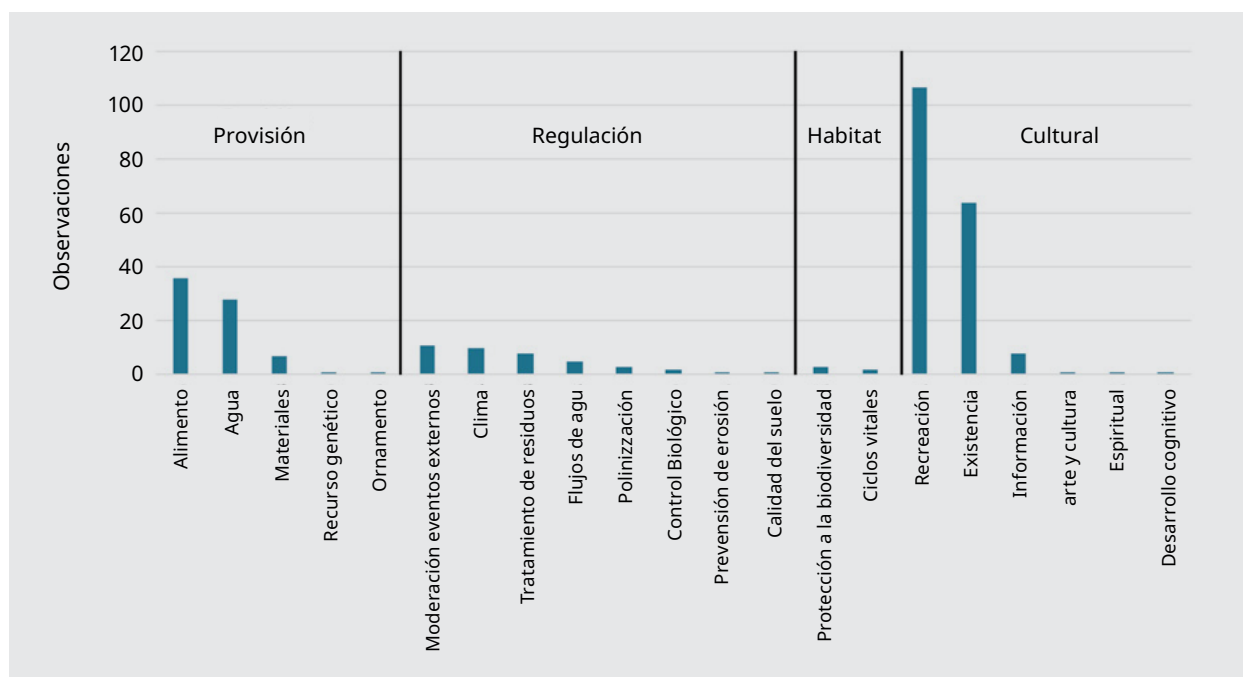
Bioma	Puntos de valoración
Bosque templado	4
Sistemas costeros	45
Matorrales	5
Humedales	8
Infraestructura urbana verde	1
Bosque tropical	17
Sistemas antropogénicos	7
Sistemas subterráneos	8
Desiertos	17
Ecosistemas marinos	157

Fuente: Elaboración propia con base en Brander et al. (2024).

La Tabla 1 y la Figura 1 sintetizan, a grandes rasgos, el estado de la valoración económica de los ecosistemas mexicanos según los datos disponibles en la ESVD. Desde la perspectiva de los ecosistemas evaluados, se observa un marcado predominio de los sistemas costeros y marinos, que concentran aproximadamente el 75 % de los puntos de valoración en México. En contraste, los bosques tropicales, los matorrales y los desiertos aportan en conjunto poco más del 15 % de las estimaciones registradas.

Este sesgo ecosistémico se refleja también en las categorías de servicios valorados con mayor frecuencia en la literatura nacional: los servicios culturales, particularmente los asociados a la recreación turística representan cerca del 60 % de las observaciones de valoración económica. Este patrón coincide con los resultados reportados por Pérez-Verdín et al. (2016) en una evaluación previa. Por su parte, los servicios de provisión —principalmente los relacionados con alimentos y agua— contribuyen con aproximadamente una cuarta parte de las estimaciones, mientras que los servicios de regulación —en especial aquellos vinculados al clima y la mitigación de eventos extremos— representan apenas algo más del 10 % del total.

Figura 1. Distribución de observaciones de valoración económica por tipo de SE en la base ESVD.



Fuente: Elaboración propia, con base en Brander et al. (2024).

Esta sección presenta seis estudios recientes que resultan innovadores sobre la valoración económica de ecosistemas mexicanos, cuya principal virtud radica en establecer una relación explícita con la política ambiental nacional. Este enfoque resulta poco frecuente en la literatura especializada, dado que todos los estudios aquí incluidos comparten la característica de haberse realizado en el contexto del Sistema Mexicano de Áreas Naturales Protegidas. En particular, los análisis se enfocan en las siguientes ANP:

- Evaluación de la productividad en la agricultura en el Área de Protección de Recursos Naturales Lago Tláhuac-Xico y en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an.
- Evaluación de la retención de carbono en el Área de protección de Flora y Fauna de San Miguelito, en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an y en el Parque Nacional Cabo Pulmo.
- Evaluación multiservicio para retención de suelo, purificación de agua, recreación, y retención de carbono en el Paisaje Biocultural Sierra Occidental de Jalisco, que abarca, parcialmente, la Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca y el Área de Protección de Recursos Naturales CADNR 043 Estado de Nayarit.
- Evaluación multiservicio para recreación, servicios hidrológicos, regulación climática y captura de carbono en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.
- Evaluación del impacto de manglares en actividades recreativas en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.
- Evaluación de servicios recreativos en el Parque Nacional Revillagigedo.

Desde el punto de vista metodológico, esta selección de trabajos combina metodologías de preferencias reveladas (costo de viaje, costos evitados y precios de mercado), de preferencias declaradas (valuación contingente), y de transferencia de beneficios, al tiempo de explorar algunas sinergias con otros elementos metodológicos de valoración social (como los mapeos colaborativos o los grupos focales) y de valoración biofísica (como el uso de modelos y de parámetros provenientes de literatura especializada). El objetivo común de los estudios es el de establecer puentes de comunicación entre este tipo de conocimiento científico y la toma de decisiones en el ámbito de las ANP, a fin de promover de mejor modo el manejo de las actividades económicas que se desarrollan en ese lugar y la conservación de los ecosistemas relevantes.

Referencias bibliográficas

- Brander, L.M. de Groot, R., Guisado Gofii, V., van 't Hoff, V., Schägner, P., Solomonides, S., McVittie, A., Eppink, F., Sposato, M., Do, L., Ghermandi, A., and Sinclair, M. (2024). Ecosystem Services Valuation Database (ESVD). Foundation for Sustainable Development and Brander Environmental Economics.
- Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S. and Turner, R.K., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, pp.152-158.
- De Groot, R., Fisher, B., Christie, M., Aronson, J., Braat, L., Gowdy, J., Haines-Young, R., Maltby, E., Neuville, A., Polasky, S. and Portela, R., 2012. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. En *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations* (pp. 9-40). Routledge.
- Evaluación de ecosistemas del milenio (EEM) (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5, p. 563). Washington, DC: Island press.
- Gómez-Baggethun, E., & De Groot, R. (2010). Natural capital and ecosystem services: the ecological foundation of human society. *Ecosystem services* 30, 105-121.
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Verma, M., Armsworth, P., Christie, M., Cornelissen, H., Eppink, F. and Farley, J., 2012. The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. En *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations* (pp. 183-256). Routledge.
- Perez-Verdin, G., Sanjurjo-Rivera, E., Galicia, L., Hernandez-Diaz, J. C., Hernandez-Trejo, V., & Marquez-Linares, M. A. (2016). Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Current status and trends. *Ecosystem Services*, 21, 6-19.

CAPÍTULO 6

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL PARQUE NACIONAL REVILLAGIGEDO, MÉXICO

PhD. Andrés M. Cisneros Montemayor.¹

Doctorante. Sarah Gutzmann.²

MSc. Ana Lucía Pozas Franco.³

Lic. Luz Erendida Frías Hernández.⁴

Lic. Arturo Ayala Bocos.⁵

PhD. Edgar E. Becerril García.⁶

Resumen

La insuficiencia del financiamiento constituye una barrera crítica para la conservación marina, particularmente en regiones en desarrollo, donde existe una alta dependencia de recursos externos que suelen ser inestables o imponen condiciones que alteran las prioridades locales. Este estudio estima el valor económico de los servicios ecosistémicos proporcionados por el Parque Nacional Revillagigedo (PNR), con el propósito de generar insumos que orienten políticas públicas dirigidas a fortalecer el financiamiento para la conservación local y fomentar un modelo de desarrollo económico regenerativo.

Mediante trabajo de campo y análisis de literatura especializada sobre ecosistemas análogos, se estimó que el PNR genera un valor económico mínimo de 12 mil millones de dólares anuales (214 mil millones de pesos), distribuido entre beneficios como el ecoturismo basado en biodiversidad, la regulación biogeoquímica de nutrientes y el secuestro de carbono. Sin embargo, solo una fracción marginal de este valor (entre 15-19 millones de dólares; 267-338 millones de pesos) se monetiza actualmente a través del ecoturismo, principalmente mediante ingresos generados por operadores turísticos y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). Los resultados revelan que los visitantes estarían dispuestos a pagar entre 57 y 75 dólares adicionales por visita para apoyar esfuerzos de conservación, lo cual podría traducirse en ingresos anuales adicionales de entre 207,000 y 273,000 dólares. Se proponen estrategias complementarias como la diversificación de actividades turísticas y el desarrollo incipiente de mercados de carbono y biodiversidad en ambientes marinos, los cuales están ganando relevancia a nivel internacional. Aunque el análisis se enfoca en el caso del Revillagigedo, su marco metodológico y recomendaciones son transferibles a otras áreas marinas con alto valor ecológico en México. Es esencial que cualquier estrategia de monetización de servicios ecosistémicos priorice beneficios locales y nacionales, contribuyendo al fortalecimiento de los sistemas socioecológicos frente al cambio climático.

Palabras clave: economía azul, ecoturismo marino, valoración económica, área natural protegida, uso sostenible.

1 Profesor Asistente en la Simon Fraser University. Correo: a_cisneros@sfu.ca

2 Simon Fraser University. Correo: sarah_gutzmann@sfu.ca

3 Asistente de Investigación en la Simon Fraser University. Correo: apozasfr@sfu.ca

4 Parque Nacional Revillagigedo. Correo: luz.frias.hernandez@conanp.gob.mx

5 Director de Proazul. Correo: artboc@yahoo.com

6 Investigador Posdoctoral en la Memorial University of Newfoundland y Asistente de Investigación, CICIMAR, Instituto Politécnico Nacional. Correo: bg.ragde@gmail.com

Abstract

Insufficient funding remains a critical constraint on marine conservation, particularly in developing regions where reliance on external sources tends to be unstable and may impose shifts in local priorities to align with donor agendas. This study estimates the economic value of ecosystem services provided by the Revillagigedo National Park (RNP), with the aim of informing policy frameworks that support sustainable conservation financing and regenerative economic development.

Drawing on fieldwork and a literature review of comparable ecosystems, the study estimates that the RNP generates a minimum annual economic value of \$12 billion USD (214 billion MXN), distributed across benefits such as biodiversity-driven tourism, nutrient cycling regulation, and carbon sequestration. However, only a small fraction of this value—between \$15–19 million USD (267–338 million MXN)—is currently captured through ecotourism revenues, mainly benefiting tour operators and the National Commission of Natural Protected Areas (CONANP). Visitor surveys indicate a willingness to pay an additional \$57–75 USD per trip to support conservation efforts, potentially generating an extra \$207,000–273,000 USD annually. Complementary strategies such as tourism diversification and the development of marine carbon and biodiversity markets—still nascent but rapidly gaining global attention—are also discussed. While the analysis focuses on the Revillagigedo case, its methodological approach and policy recommendations are applicable to other ecologically significant marine areas in Mexico. Any ecosystem service monetization strategy must prioritize local and national benefits, reinforcing socio-ecological resilience in the context of climate change.

Key words: blue economy; marine ecotourism, economic valuation, protected natural area, sustainable use.

1. INTRODUCCIÓN

El Marco Mundial Kunming-Montreal para la Diversidad Biológica (2022) establece como meta la protección del 30 % de los océanos del planeta para el año 2030, acompañado del compromiso de generar un fondo internacional anual de al menos 200 mil millones de dólares destinado a cumplir dicha meta y otras relacionadas con la conservación de la biodiversidad. No obstante, la creación, operación y acceso a este tipo de fondos suele ser un proceso lento y complejo (Schutter et al., 2024), lo que refuerza la falta crónica de financiamiento como una de las principales barreras para la conservación marina y la gestión sostenible de los recursos oceánicos a nivel mundial (Clark et al., 2018).

Más allá de la escasez estructural de recursos financieros, persisten importantes desafíos de equidad internacional. En particular, las regiones en desarrollo dependen en gran medida de fuentes externas de financiamiento que pueden ser limitadas, inestables o sujetas a condicionamientos que obligan a alinear las prioridades locales con las de los donantes (Saif et al., 2022; Schutter et al., 2024). En un contexto global donde múltiples países persiguen metas similares de conservación, existe el riesgo de que el financiamiento destinado a estrategias locales se diluya, especialmente si las naciones donantes priorizan esquemas tradicionales centrados en la exclusión de actores locales y el cierre de áreas al uso humano (Isla, 2005; Schutter et al., 2024). Estas problemáticas se acentúan en zonas marinas remotas, donde los costos logísticos y operativos para garantizar la protección efectiva de especies y ecosistemas son elevados, a pesar del creciente reconocimiento del valor estratégico que representan estos entornos (IPBES, 2022).

El ecoturismo marino, como el buceo recreativo, representa una actividad de creciente relevancia económica a escala global, con un estimado de 80 mil millones de dólares anuales en gasto turístico y la generación de un millón de empleos directos e indirectos (Cisneros-Montemayor & Sumaila, 2010). En el caso del Golfo de California y la península de Baja California, el ecoturismo vinculado al avistamiento de especies emblemáticas como el lobo marino, el tiburón ballena, las ballenas grises y el marlín genera más de 520 millones de dólares en gasto anual y al menos 3,575 empleos directos (Cisneros-Montemayor et al., 2020).

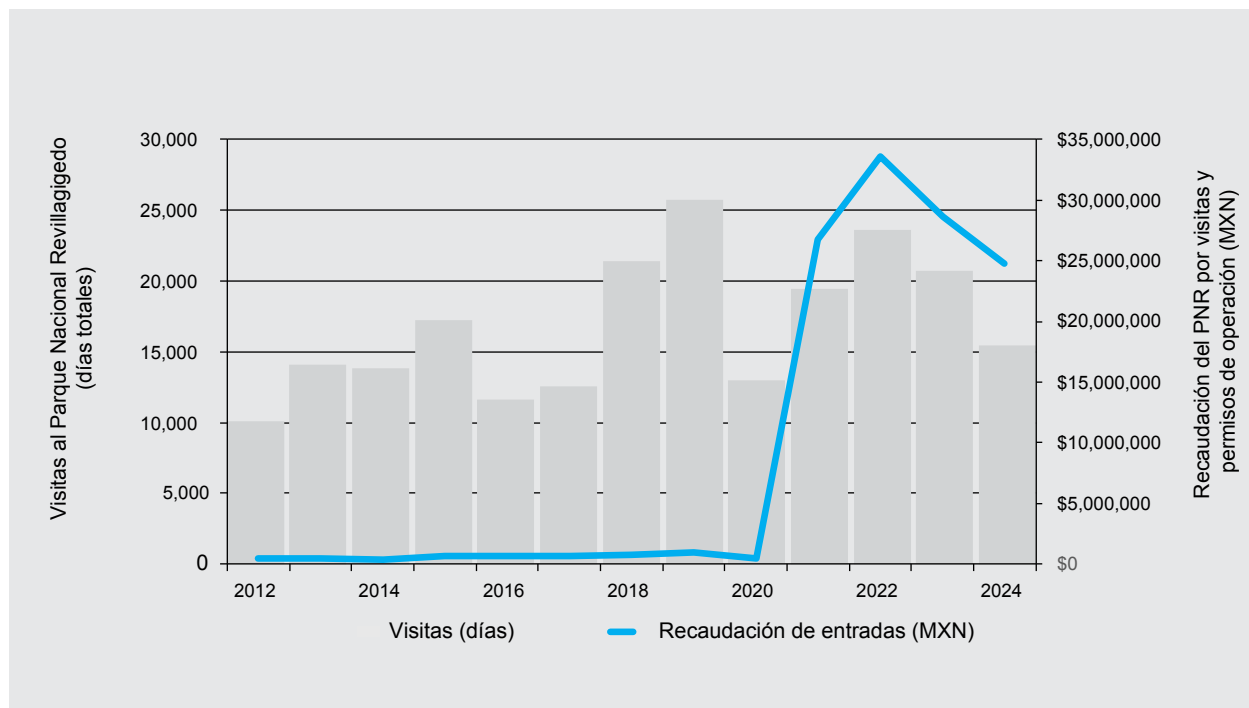
Uno de los espacios con mayor dinamismo reciente en cuanto al valor económico del ecoturismo marino en México es el Parque Nacional Revillagigedo (PNR). Esta región fue designada inicialmente como Reserva de la Biósfera Archipiélago de Revillagigedo en 1994. En 2016 el archipiélago fue inscrito en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, lo que catalizó un rápido incremento en el turismo nacional e internacional (véase Figura 1). Finalmente, en 2017, se declaró oficialmente como Parque Nacional, abarcando tanto los ecosistemas terrestres como marinos de todo el archipiélago y sus aguas adyacentes. Desde entonces, tanto las visitas como la captación de ingresos se han incrementado de forma significativa (Figura 1).

El presente estudio se enmarca en los esfuerzos actuales por establecer nuevas líneas base sobre la biodiversidad, el hábitat y el valor de los servicios ecosistémicos del Parque Nacional Revillagigedo. Retoma una base de conocimiento sustancial proveniente de estudios previos sobre la región (Aburto-Oropeza et al., 2016; Hull et al.,

2006), y tiene como finalidad principal aportar evidencia empírica para orientar políticas de conservación sostenibles y socialmente justas. Se emplearon metodologías mixtas que incluyen encuestas a visitantes y técnicas de transferencia de beneficios a partir de estudios en ecosistemas similares, con el objetivo de estimar un amplio espectro de valores ecosistémicos relevantes en el archipiélago. El reconocimiento del valor de estos servicios constituye un paso esencial para diseñar mecanismos de financiamiento que permitan asegurar su conservación y uso responsable.

El documento se estructura en cuatro secciones principales. La primera corresponde a la metodología, donde se detallan los fundamentos teóricos de los servicios ecosistémicos, los enfoques de valoración empleados y los procedimientos específicos utilizados en este estudio. La segunda sección presenta los resultados, organizados según las categorías de servicios ecosistémicos culturales, de provisión, de apoyo y de regulación, en la tercera sección se discuten las implicaciones de estos hallazgos para el diseño de mecanismos de financiamiento viables en el marco de una economía azul, así como las oportunidades y limitaciones inherentes a los procesos de valoración económica en contextos marinos, especialmente en aquellos que buscan promover enfoques de conservación más inclusivos y sostenibles. Finalmente, en la cuarta sección se plantean recomendaciones para políticas públicas factibles de implementarse en la conservación de ANP marinas.

Figura 1. Declaratorias, designación, visitación y recaudación en el PNR. Periodo 2012-2023.



Fuente: elaboración propia con información del PN Revillagigedo.

2. METODOLOGÍA

2.1. Marco teórico

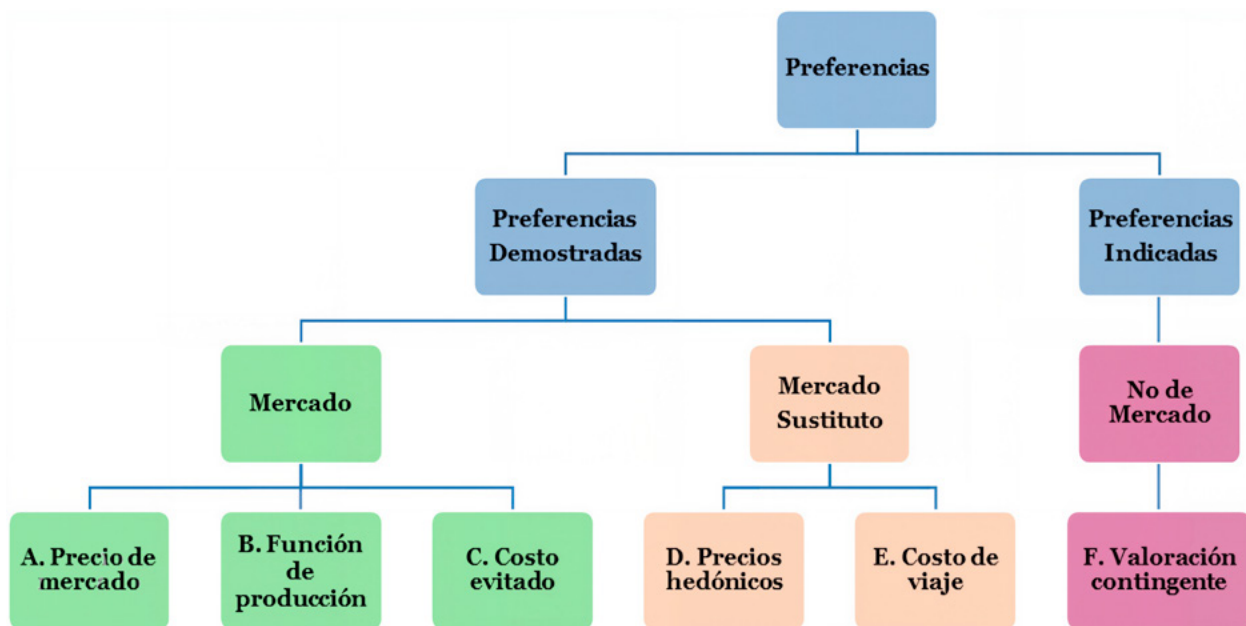
Los servicios ecosistémicos (SE) comprenden todos los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, incluyendo el conocimiento de su existencia, sus funciones y sus componentes individuales, tales como especies o hábitats particulares (Balvanera et al., 2017). Habitualmente, estos servicios se agrupan en cuatro categorías principales: culturales, de provisión, de apoyo y de regulación. Aunque existen solapamientos y diversas formas de clasificar los servicios dentro de estas categorías, dicha tipificación resulta útil para conceptualizar la complejidad de las funciones ecosistémicas y su contribución al bienestar humano.

En este marco, la cuantificación económica de las contribuciones que brindan los servicios ecosistémicos puede enfatizar los impactos directos derivados de su pérdida (Costanza et al., 2017) y facilitar la conexión con mecanismos de financiamiento para su conservación, como los pagos por servicios ecosistémicos (Lau, 2013). El campo de la valoración de servicios ecosistémicos cobró relevancia a partir de la publicación seminal de Costanza et al. (1997) —“*El valor de los servicios ecosistémicos y capital natural del mundo*”— que estimó su valor global en aproximadamente 33 billones de dólares, cifra que duplicaba el producto bruto mundial de ese momento.

Desde entonces, la investigación ha evolucionado para integrar de manera más efectiva los valores culturales y no monetarios dentro de la valoración económica (Braat & De Groot, 2012), si bien conceptos provenientes del capitalismo de mercado, como el “capital natural”, continúan siendo centrales. Esta aproximación ha sido objeto de críticas, dado que las cosmovisiones y prácticas culturales son fundamentales para comprender el bienestar humano (Pascual et al., 2017).

La Figura 2 ilustra un esquema de distintos tipos de valores humanos (denominados en este marco como “preferencias”) y las metodologías para su estimación. Entre los métodos empleados, se incluye la identificación de beneficios reflejados en mercados (preferencias reveladas), tanto directamente mediante precios de mercado, como indirectamente a través de funciones de producción (por ejemplo, capturas pesqueras observadas en áreas con características ecológicas distintas) o costos evitados (como el gasto en infraestructura para sustituir funciones ecosistémicas, por ejemplo, escolleras que reemplazan la protección que ofrecen los manglares frente a la erosión). Otros valores pueden obtenerse mediante encuestas que evalúan preferencias declaradas en escenarios hipotéticos de cambios ecológicos y sus consecuencias socioeconómicas, lo cual permite estimar impactos potenciales de políticas futuras (valoración contingente). Los servicios y métodos específicos aplicados en el Parque Nacional Revillagigedo se detallan en las secciones subsiguientes.

Figura 2. Métodos de valoración económica de SE.



Fuente: elaboración propia.

2.2. Área de estudio

El Parque Nacional Revillagigedo (PNR) comprende una superficie de 148,087 km² en torno a las islas volcánicas Socorro, Clarión, San Benedicto y Roca Partida, ubicadas frente a la costa pacífica de México (véase Figura 3). La Isla Socorro, con 132 km², representa el territorio terrestre más extenso y biodiverso del archipiélago (García-Navarrete et al., 2023), seguida por Clarión (19.8 km²), San Benedicto (4.8 km²) y Roca Partida (0.014 km²).

La riqueza biológica de estas islas ha sido documentada en una línea base exhaustiva (Hull et al., 2006) y ampliada en estudios posteriores que abordan los beneficios ecológicos y turísticos de la región (Aburto-Oropeza et al., 2016), así como la identificación de especies endémicas y amenazadas (García-Navarrete et al., 2023). Destacan 28 especies de tiburones y rayas (Becerril-García et al., 2020), aproximadamente 26 especies de peces endémicos (Conanp, 2019), 18 especies de mamíferos marinos (Pelamatti et al., 2021) y 12 especies de aves marinas (Hahn et al., 2012). Actualmente, se está actualizando esta información con nuevas técnicas y estudios que abordan vacíos de conocimiento (Favoretto et al., en preparación).

Establecido en 2017, el PNR es la decimocuarta área marina “totalmente, o altamente protegida” más extensa del mundo (Marine Protection Atlas, 2024) y forma parte de la Red de Áreas Marinas Protegidas del Corredor Marino del Pacífico Oriental Tropical (Conanp, 2021).

El ecoturismo especializado, especialmente el buceo con tiburones y mantarrayas gigantes constituye el principal uso directo del PNR. Estas actividades se concentran entre noviembre y junio y se desarrollan en zonas específicas del ANP. Las especies más comunes para estas actividades son los tiburones martillo (*Sphyrna lewini*), Galápagos (*Carcharhinus galapagensis*), punta plateada (*Carcharhinus albimarginatus*), punta blanca (*Triaenodon obesus*) y sedoso (*Carcharhinus falciformis*), además de la manta gigante (*Mobula birostris*). El acceso a las islas es posible mediante embarcaciones privadas, aunque limitado por la lejanía y la ausencia de infraestructura turística, existiendo únicamente bases navales de la Secretaría de Marina (SEMAR).

Mapa 1. Ubicación geográfica del PNR.



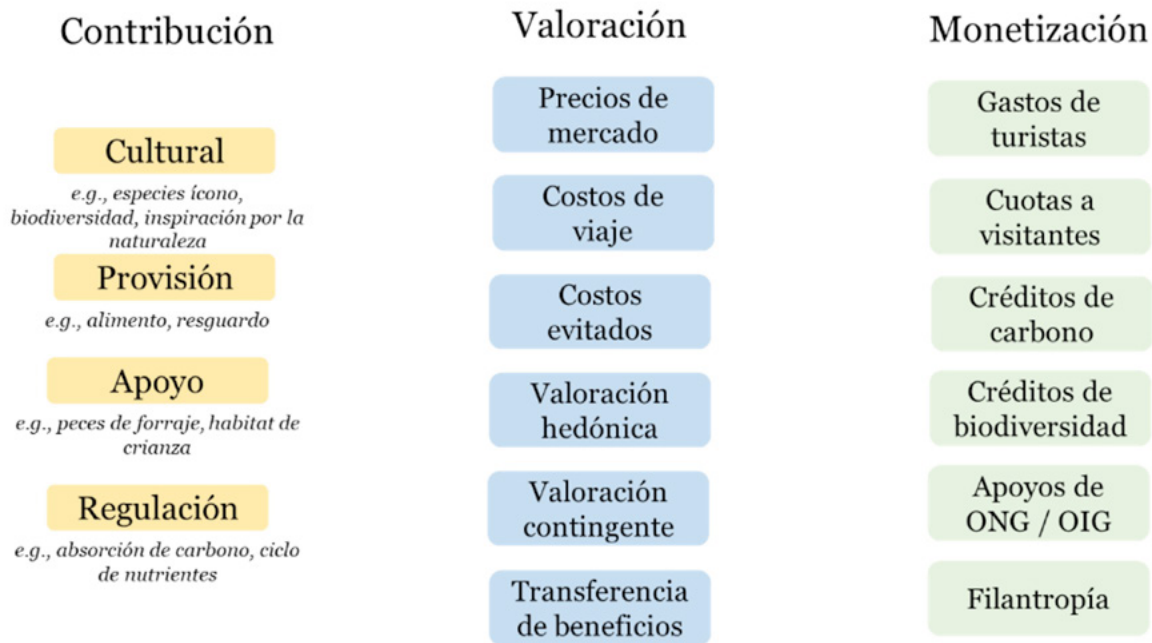
Fuente: elaboración propia.

2.3. Valoración de servicios ecosistémicos

Con base en el marco conceptual expuesto en la sección 2.1 y los métodos descritos en la Figura 2, se aplicó una combinación de técnicas para valorar los servicios ecosistémicos del PNR. Estas incluyeron precios de mercado (para entradas y guías turísticos), costos de viaje (gastos en traslados a los puntos de partida hacia el PNR), valoración contingente y transferencia de beneficios. Las cifras económicas se expresan en pesos y dólares estadounidenses (USD) ajustados a su valor en 2024, utilizando una tasa de cambio de 17.8 MXN/USD (1 de julio de 2024).

Es importante destacar que, reconocer la existencia de los beneficios de los SE, valorar su importancia y monetizarlas constituyen procesos conceptualmente distintos, cada uno relevante por sí mismo (véase Figura 4). Un servicio puede ser ampliamente reconocido sin poder ser valorado económicamente, y aun cuando sea valorado, su monetización puede resultar compleja, especialmente en áreas oceánicas remotas. Este estudio retoma los tres aspectos, por lo que ahí reside su riqueza y fortaleza técnica.

Figura 3. SE del PNR, metodologías de valoración y tipos de monetización.



Fuente: elaboración propia.

2.4. Trabajo de campo: encuestas a visitantes

Dada la excepcional biodiversidad, la lejanía y la condición de área totalmente protegida del PNR, el ecoturismo especializado representa el principal uso directo. La valoración económica de las preferencias de los visitantes se obtuvo a través de encuestas individuales que registraron gastos, motivaciones y disposición a pagar para la conservación del parque, usando metodologías consolidadas para estimar tanto el gasto efectivo (cuotas y costos de viaje) como el valor contingente.

Los gastos considerados incluyen el costo de los recorridos, tarifas adicionales y propinas a guías y personal. Los costos de viaje comprenden pasajes aéreos, alojamiento y otros gastos incurridos antes del tour, generalmente en los puertos de Cabo San Lucas o San José del Cabo, Baja California Sur. El cuestionario se encuentra disponible en el apartado Anexo.

Tras cuestionarios piloto realizados en 2018 y 2019, la recolección principal se vio interrumpida por la pandemia de COVID-19 y se retomó en las temporadas de visitación de 2021 y 2022. La limitada accesibilidad al PNR facilita el estudio, dado que la mayoría de los visitantes realiza tours 'liveaboard' operados por un reducido número de compañías. Con la colaboración de estos operadores y la administración del parque, se aplicaron 200 cuestionarios de forma presencial y se distribuyeron 80 adicionales a través de los operadores, obteniéndose las respuestas para su análisis en R 4.3.3 (R Core Team, 2024).

2.5. Metaanálisis: transferencia de valores

Los valores culturales vinculados al ecoturismo representan solo una fracción de los servicios ecosistémicos que provee el PNR. Por ello, se elaboró una lista integral de servicios potenciales, incluyendo provisión, apoyo y regulación. En ecosistemas marinos remotos y protegidos, como Revillagigedo, los servicios de apoyo y regulación incluyen procesos clave como el ciclo de nutrientes y la absorción de carbono a través de procesos bióticos y abióticos.

Asimismo, las áreas marinas protegidas promueven la regulación de la biodiversidad mediante la provisión de hábitats para reproducción, la protección de especies endémicas y poco comunes, y el mantenimiento de la complejidad trófica y rutas migratorias de megafauna (Marcos et al., 2021).

A partir de estas categorías, se realizó una revisión bibliográfica para identificar estudios de valoración en ecosistemas o especies análogos al PNR, con el fin de aplicar la transferencia de beneficios. Esta técnica ampliamente utilizada supone que los valores estimados en estudios previos pueden servir como referencia para contextos similares sin estudios específicos, facilitando la toma de decisiones en regiones con información

biológica sólida ((por ejemplo, líneas base que detallen los tipos de ecosistemas y especies presentes)), pero sin estudios de valoración económica directos (Jacobs et al., 2013).

Para obtener estimaciones más precisas, se priorizaron estudios que reportaran valores por hectárea o por individuo, ajustados por inflación y convertidos a dólares de 2024. Para minimizar riesgos de sobreestimación, se utilizaron los valores inferiores de los rangos reportados. Las fuentes específicas se indican para cada estimación.

Finalmente, se contrastaron las valoraciones con la presencia confirmada de especies, basada en datos biológicos recientes recopilados por el equipo del PNR, que documentan preliminarmente 112 especies de peces, 25 mamíferos marinos, 197 algas, 77 invertebrados y 29 tiburones y rayas (Favoretto et al., en preparación). Estos registros representan probablemente una fracción de la biodiversidad total, lo que destaca la necesidad de censos periódicos y técnicas complementarias como el ADN ambiental para obtener una imagen completa (Mac Laughlin et al., 2024). Nuevas investigaciones permitirán afinar y ampliar la valoración ecológica y económica del PNR.

3. RESULTADOS

3.1. Valoración económica de los servicios ecosistémicos del Parque Nacional Revillagigedo.

De acuerdo con las encuestas realizadas y los metaanálisis implementados para este estudio, se estima que las contribuciones del ecosistema del Parque Nacional Revillagigedo (PNR) al bienestar humano poseen un valor económico anual equivalente a, por lo menos, 12 mil millones de dólares estadounidenses (aproximadamente 214 mil millones de pesos mexicanos). De esta cifra, únicamente entre 15 y 19 millones de dólares (267 a 338 millones MXN) se monetizan directamente a través del ecoturismo. Sin embargo, el valor del PNR incluye también beneficios culturales derivados de la biodiversidad, provisión de alimentos y servicios de regulación ambiental, tales como el ciclo de nutrientes y el secuestro de carbono. Todos estos servicios dependen de procesos tanto abióticos como bióticos, desde el fitoplancton hasta grandes consumidores como tiburones, mantas y ballenas. La Figura 5 sintetiza estos resultados, los cuales se desarrollan con mayor detalle en las secciones siguientes.

Figura 4. Resumen de SE y su valor económico en el PNR.

Tipos de servicios ecosistémicos	Cultural	Cultural, regulación, y apoyo	Regulación, apoyo
Descripción	Visitantes que realizan ecoturismo de buceo, o investigación	Especies de ballenas: azul, minke común, de Bryde, jorobada y cachalotes	Absorción biótica y abiótica de carbono, y ciclo de nutrientes
Valor por unidad	 ~\$83,600 MXN por persona	 \$200K–4.4M USD por especie de ballena	 \$29-145 USD carbono/km², + \$252 USD nutrientes/ha por 1 km² o 1 ha
Cantidad en PNR	 ~3,748 visitantes al año	 ~3,228 ballenas mínimo	 148,087 km² o 14,808,700 ha
Valor en PNR	\$ 276-342 MXN MILLONES/AÑO	\$ 144,180 MXN MILLONES/AÑO	\$ 66,885 MXN MILLONES/AÑO

Fuente: elaboración propia con base en datos propios.

3.2. Servicios ecosistémicos culturales y ecoturismo

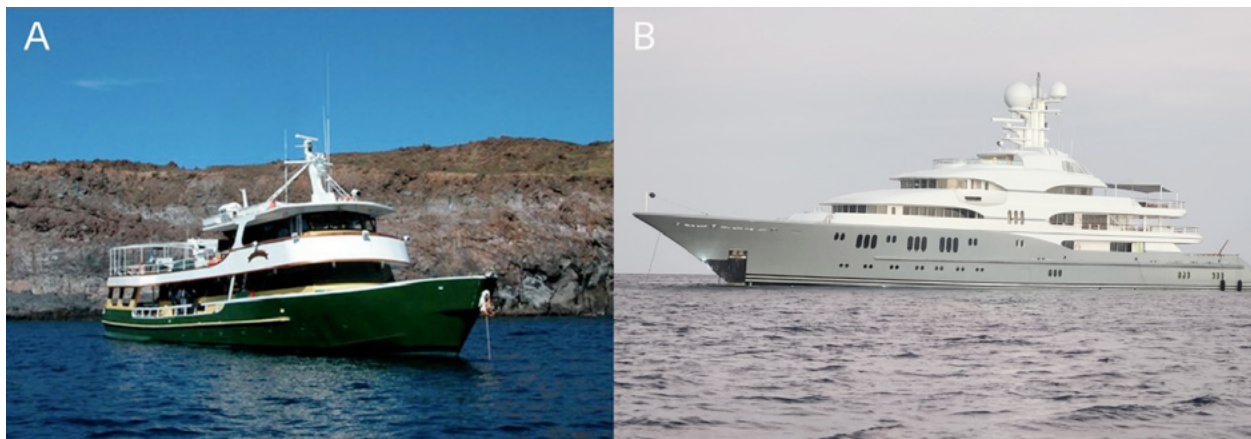
Entre 2018 y 2023, el PNR recibió un promedio anual de 3,641 visitantes. Para acceder, los turistas deben adquirir un boleto de admisión diario, conocido como 'brazalete', expedido por la CONANP; las visitas suelen durar entre 5 y 7 días en embarcaciones 'liveaboard'. El precio promedio por día osciló entre aproximadamente \$35.00 (2018-2020) y \$1,615.00 (2020-2023), incrementándose a \$3,620.00 a partir de enero de 2025.

Durante este periodo, se vendieron en promedio 16,321 brazaletes anuales, lo que, sumado a ingresos derivados de los Pasaportes de la Conservación (hasta 2021, cuando dejaron de aplicarse en el PNR), generó ingresos promedio para CONANP de \$15.2 millones (854,472 USD) anuales. Adicionalmente, las licencias comerciales para operadores turísticos aportaron un promedio anual de 88,540 MXN (4,974 USD) entre 2018 y 2023. No obstante, estos ingresos no siempre se asignan directamente al PNR, dado que el presupuesto anual del parque proviene del gobierno federal. Durante el mismo periodo, el presupuesto promedio anual asignado al PNR fue de 142,730 MXN (8,018 USD), complementado con 1.2 millones MXN (67,415 USD) provenientes del Fondo para Áreas Naturales Protegidas (FANP), administrado por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN).

Más allá de los ingresos oficiales por admisión, el valor económico de los servicios ecosistémicos culturales se refleja en el gasto directo de los visitantes, estimado a partir de encuestas de campo. Se recopilieron 282 respuestas: 124 mujeres, 151 hombres y 7 sin identificación de género, con edades entre 18 y 77 años (media 44 años). Los encuestados representaron 33 nacionalidades y 30 países de residencia, principalmente Estados Unidos, Brasil, Canadá y Reino Unido; 27% residía en México (69 con nacionalidad mexicana).

Un desafío central en la valoración de servicios culturales ligados al turismo es determinar el grado en que el ecosistema motiva la visita. En el PNR, esta relación es directa, dado que el turismo se orienta exclusivamente a actividades ecoturísticas y la accesibilidad requiere embarcaciones y guías especializados (véase Figura 6). Por lo tanto, la totalidad del gasto turístico puede atribuirse al valor que los visitantes asignan al ecosistema del parque, reflejado en: 1) gastos directos con operadores ecoturísticos, 2) gastos en desplazamientos y alojamiento fuera del parque, y 3) disposición a pagar tarifas adicionales para apoyar la conservación y manejo.

Figura 5. Ejemplos de embarcaciones: ecoturística (A) y privada (B) en el PNR.

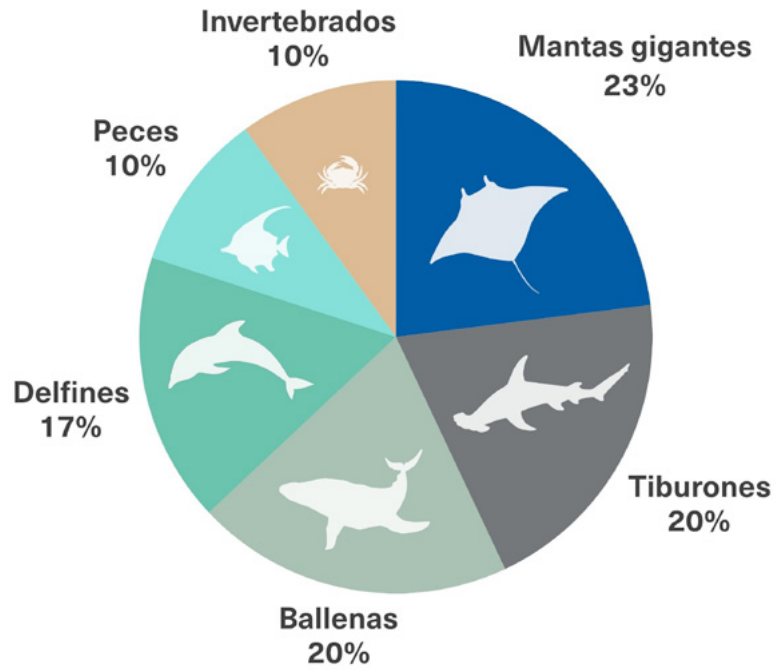


Fuente: Underseaventures (A) y Arturo Ayala Bocos (B).

El gasto promedio en tours de buceo osciló entre 3,574 y 4,297 USD (63,617-76,487 MXN), mientras que los costos en traslado y alojamiento fuera del PNR fueron de 186 a 284 USD, y los gastos en vuelos entre 485 y 699 USD por persona. Los visitantes internacionales mostraron un gasto mayor (74,661-93,030 MXN; 4,194-5,226 USD) que los nacionales (63,860-78,978 MXN; 3,588-4,437 USD). Considerando un promedio de 3,641 visitantes anuales, el gasto turístico total se estima entre 15.5 y 19.2 millones USD (267-338 millones MXN). Parte de este gasto se refleja en los ingresos por visitación que reportada la CONANP.

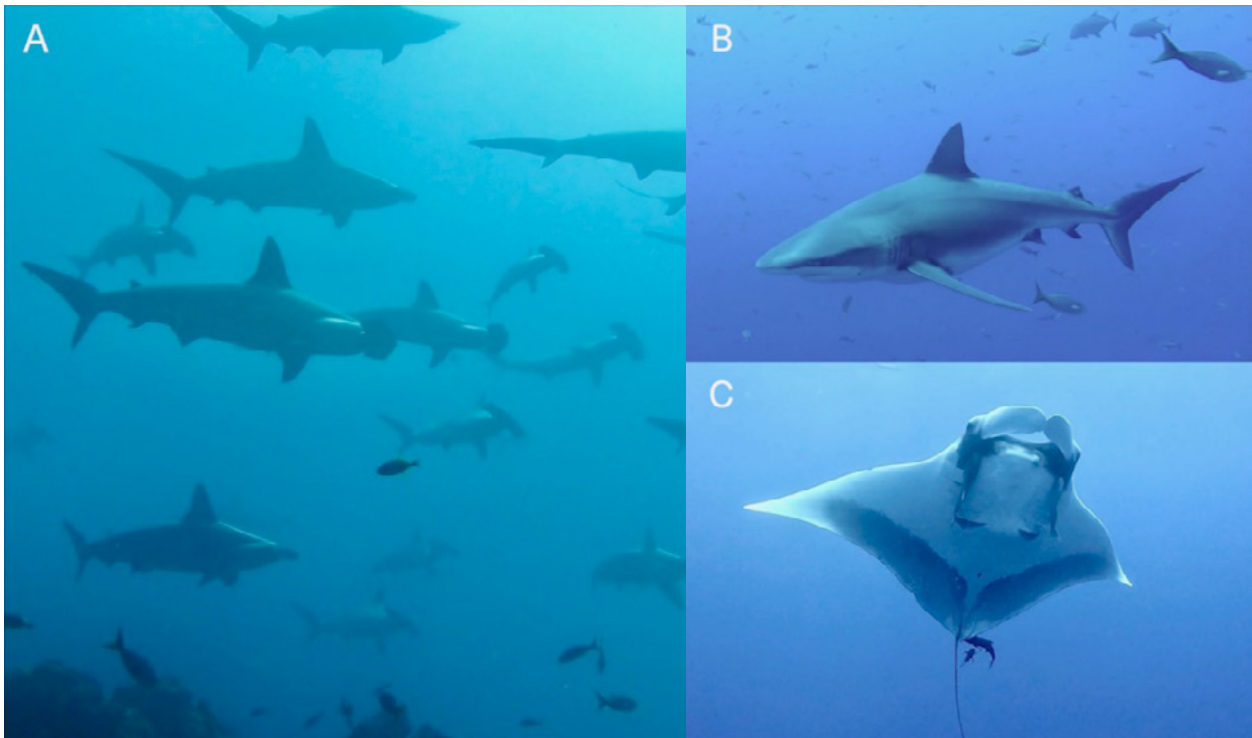
Respecto a las especies de interés, los visitantes priorizan la observación de mantas gigantes (promedio de prioridad 2.3), seguidas por tiburones (2.7), ballenas (2.8), delfines (3.2), peces (4.3) e invertebrados (5.4) (Figura 8 y 9).

Figura 6. Preferencia de avistamiento de los buceadores en el PNR por agrupación de especies.



Fuente: elaboración propia con base en datos propios.

Figura 7. Preferencia de avistamiento de los buceadores en el PNR por tipo de especies: A) tiburón martillo, B) tiburón Galápagos y C) manta gigante del Pacífico.

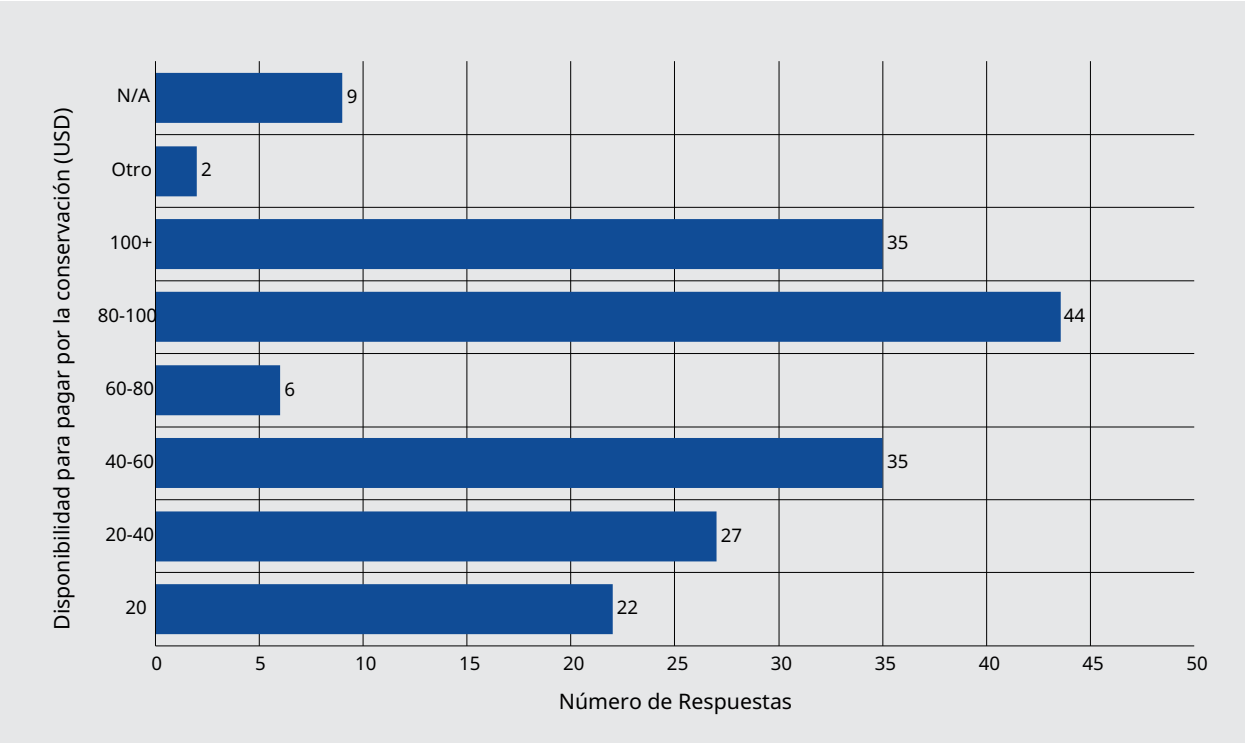


Fuente: Arturo Ayala Bocos.

3.3. Disponibilidad a pagar por la conservación de la biodiversidad

Del total de encuestados, 180 (70%) manifestaron su disposición a pagar un monto adicional para apoyar la conservación del PNR, mientras que 79 se opusieron. El pago mínimo promedio declarado fue de 57.75 USD, y el máximo promedio de 75.15 USD, con amplia variabilidad (Figura 9). Estas tarifas adicionales representarían menos del 2% del gasto promedio por persona en ecoturismo y podrían generar entre 3.1 y 4.1 millones MXN (176,016-231,600 USD) anuales, considerando la afluencia actual de visitantes (Tabla 1).

Figura 8. Disponibilidad a pagar para la conservación de PNR.



Fuente: elaboración propia con base en datos propios.

Tabla 1. Gastos en turismo y DAP para la conservación del PNR.

Descripción	Valores por persona	Valor anual
Turismo de buceo (promedio mínimo)	\$75,561 \$4,245 USD	\$275,117,601 \$15,456,045 USD
Turismo de buceo (promedio máximo)	\$94,002 \$5,281 USD	\$342,260,554 \$19,228,121 USD
Disponibilidad de gasto adicional para la conservación del PNR	\$1,015 - \$1,335 \$57 - \$75 USD	\$3,133,085 - \$4,122,480 \$176,016 - \$231,600 USD

Fuente: elaboración propia con información de trabajo de campo.

3.4. Impacto económico de la investigación científica

Entre 2018 y 2023, el PNR recibió en promedio 107 investigadores anuales, predominantemente mexicanos (98 individuos). Según nuestra encuesta, el gasto promedio de visitantes nacionales fue menor (3,772-4,665 USD) que el de internacionales (4,410-5,495 USD). Asumiendo que los costos de investigación son similares a los del ecoturismo, se estima que la investigación nacional genera entre 369,656 y 457,170 USD anuales, mientras que la investigación internacional aporta entre 39,690 y 49,455 USD.

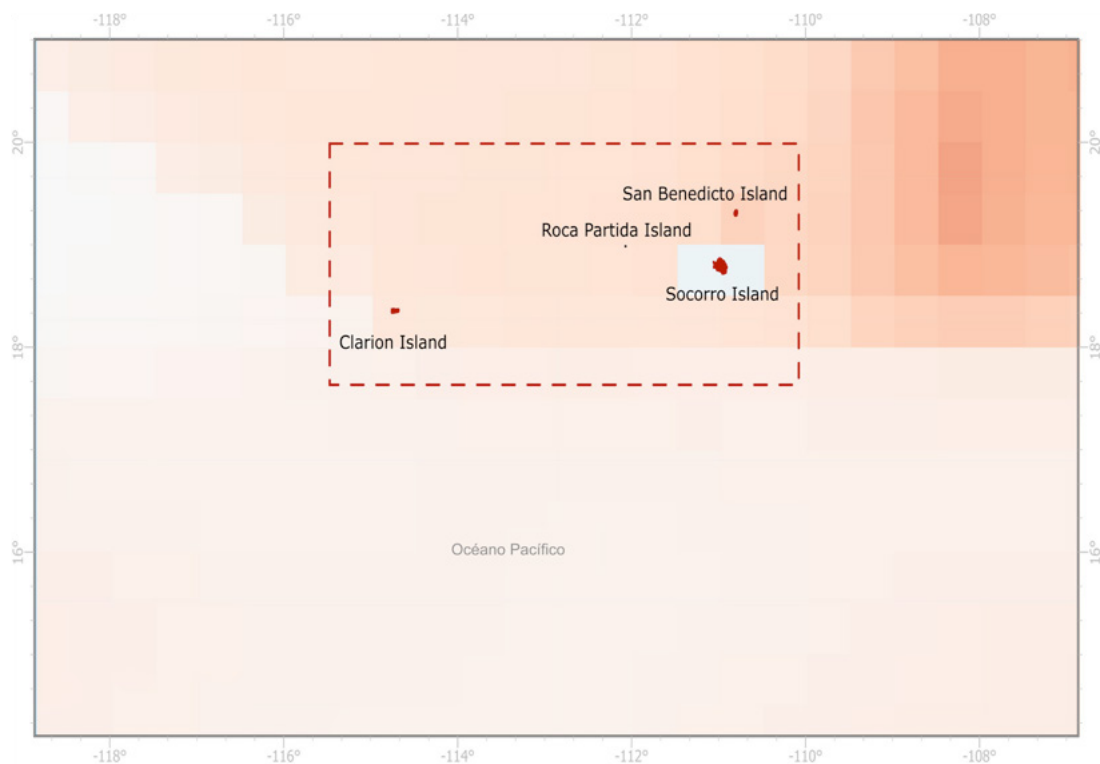
3.5. Servicios de provisión: refugio climático para la biodiversidad

Pero por la alta incertidumbre estos valores no se suman al total expresado en el resumen del estudio.

La región del PNR, especialmente Isla Socorro, representa un refugio climático significativo para la biodiversidad marina, incluyendo especies de interés pesquero. Proyecciones recientes que incorporan escenarios de cambio climático indican un incremento del 3-4% en la abundancia de peces en Isla Socorro, frente a una reducción de 8-18% en áreas adyacentes (véase Figura 10; Palacios-Abrantes et al., 2023). No obstante, se requieren estudios de campo específicos para validar y monitorear estos efectos.

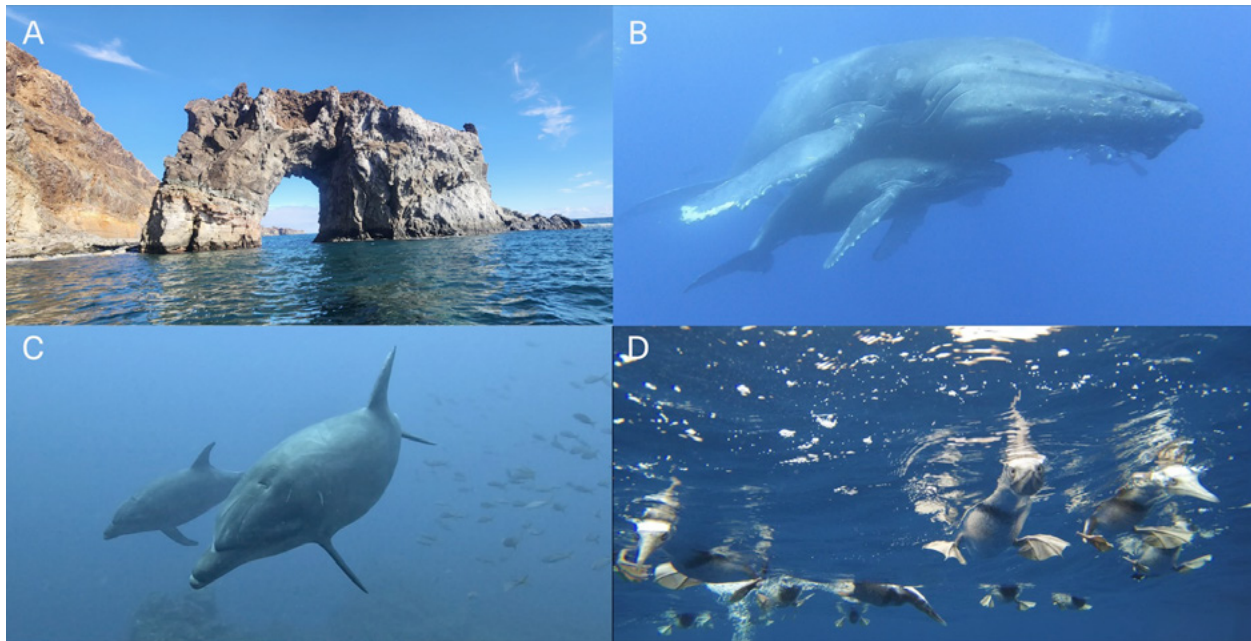
Los créditos por biodiversidad y refugios climáticos contemplados en tratados internacionales emergentes podrían ofrecer mecanismos para monetizar estos servicios (Ducros & Steele, 2022), siempre que se garantice la conservación y buen estado ecológico del área (véase Figura 11). Tales créditos se fundamentan en evitar pérdidas futuras de biodiversidad, promover restauración y apoyar esfuerzos existentes. Asimismo, la bioprospección podría ser una fuente adicional de ingresos, aunque es fundamental asegurar un reparto equitativo de beneficios derivados (Blasiak et al., 2018). La implementación de líneas base y monitoreo continuo de la biodiversidad, ya iniciados en el PNR, es esencial para estos fines.

Mapa 2. Proyección del cambio en la distribución de especies marinas con potencial pesquero por efectos del cambio climático para el año 2050.



Fuente: elaboración propia con base en Palacios-Abrantes et al. (2023).

Figura 9. SE subvaluados en el PNR: A) arco volcánico en Isla Socorro, B) ballena jorobada con cría, C) delfín nariz de botella y D) pato bobo.



Fuente: Arturo Ayala Bocos.

Un tema clave en la investigación marina es el impacto de las áreas protegidas en los servicios de provisión alimentaria, mediante la recuperación y desplazamiento de especies hacia áreas de pesca, incrementando capturas fuera del área protegida (Medoff et al., 2022). Este fenómeno representa un área de estudio futuro, pues los datos actuales no permiten estimar su magnitud.

3.6. Servicios ecosistémicos de apoyo y regulación

Los ecosistemas marinos contribuyen significativamente al ciclo global del carbono y a la regulación climática a través de la absorción de CO_2 , principalmente por fotosíntesis del fitoplancton, macroalgas y plantas marinas (componentes bióticos), así como por intercambio pasivo en la interfase aire-agua (componentes abióticos). Dado el contexto ambiental del PNR, se empleó un modelo biogeoquímico basado en estudios del mar Mediterráneo (Canú et al., 2015) para estimar estos flujos.

El valor del costo social del carbono (CSC) —que refleja las pérdidas humanas en salud y productividad económica vinculadas al cambio climático— que fue utilizado es de 29 USD/tonelada de CO_2 , valor conservador dentro del rango internacional (Alatorre et al., 2019; Rennert et al., 2022). Bajo esta premisa, el valor estimado de la absorción de carbono en el PNR alcanza 25.7 a 33 millones USD anuales.

Se estimó un valor de absorción abiótica de 29 USD/ $\text{km}^2/\text{año}$ (516 MXN) y biótica de 145 USD/ $\text{km}^2/\text{año}$ (2,581 MXN), asumiendo condiciones oceánicas comparables al modelo utilizado, aunque es probable que la absorción real sea mayor.

Otro servicio esencial es el ciclo de nutrientes, donde el océano “trata” el agua con un valor económico estimado entre 0.15 y 0.42 USD/ m^3 (Aanesen & Armstrong, 2010), subvalorando el servicio al considerar solo ciertos nutrientes. Costanza et al. (1997) sugieren un valor promedio de 118 USD/ha/año (2,100 MXN) para el ciclo de nitrógeno y fósforo en mar abierto. Aplicado al área del PNR, el valor total por este servicio alcanza 3.7 mil millones USD (65.9 mil millones MXN).

Las especies emblemáticas, como las ballenas, proporcionan servicios críticos mediante la absorción de carbono y la regulación trófica. Estudios recientes (Chami et al., 2020) han cuantificado el valor económico promedio por individuo para varias especies presentes en el PNR, considerando su rol en el secuestro de carbono y el fomento de la pesca y el ecoturismo.

La captura de carbono se atribuye tanto al carbono almacenado en los cuerpos de las ballenas como al incremento en la productividad del fitoplancton, promovido por la mezcla de nutrientes que generan durante sus migraciones. Este aumento del fitoplancton contribuye a una mayor productividad del ecosistema y a un

incremento global en las capturas pesqueras valorado en más de 2.4 mil millones USD anuales.

El PNR es un corredor migratorio fundamental para diversas especies en la cuenca del Pacífico (Aburto-Oropeza et al., 2016), incrementando su importancia más allá de la población presente en un momento dado. Se obtuvieron datos de densidad relativa para las especies de ballenas identificadas en el área, estimando valores económicos individuales basados en observaciones directas y extrapolaciones cautelosas (Tabla 2).

Los valores individuales estimados para la absorción de carbono por especie son (Chami et al., 2020): ballena minke (~200,000 USD), ballena de Bryde (~2.8 millones USD), azul (~4.4 millones USD), jorobada (~2.5 millones USD) y cachalote (~2.7 millones USD). Aunque aún no se cuenta con estimaciones precisas de la población de ballenas jorobadas en el PNR (Young, 2023), se identificaron 769 individuos únicos (Cheeseman et al., 2023), lo que equivale a un valor total aproximado de 1.9 mil millones USD (Tabla 2). Las estimaciones para otras especies son preliminares y requieren validación mediante investigaciones futuras.

Se proyecta que alrededor de 61 ballenas azules utilizan el PNR, con un valor económico asociado de 267 millones USD anuales; 2,073 cachalotes equivalen a 5,593 millones USD; 210 ballenas minke a 42 millones USD; y 115 ballenas de Bryde a 319 millones USD anuales (Tabla 2).

Tabla 2. Valor económico de los servicios ecosistémicos en el PNR

Servicio ecosistémico	Descripción	Unidad	Valor 2024 (USD)	Cantidad en PNR	Valor 2024 en el PNR/año (millones)
Cultural (estético, inspiración por naturaleza y biodiversidad)	Ecoturismo de buceo	persona/año	\$4,245-5,281	3,641	\$275.9-341.8 \$15.5-19.2 USD
Cultural	Investigadores nacionales e internacionales	persona/año	\$3,772-5,495	107	\$7.30-9.08 \$0.41-0.51 USD
Regulación	Ciclo de nutrientes	ha/año	\$252	14,808,700	\$66,426.04 \$3,731.8 USD
Regulación-apoyo	Absorción biótica de carbono	km²/ año	\$145	148,087	\$383 \$21.5 USD
Regulación-apoyo	Absorción abiótica de carbono	km²/ año	\$29	148,087	\$76.5 \$4.3 USD
Cultural-regulación-apoyo	Ballena jorobada	individuo	\$2,527,575	769	\$34,597.8 \$1,943.7 USD
Cultural-regulación-apoyo	Ballena azul	individuo	\$4,370,057	61	\$4,745.5 \$266.6 USD
Cultural-regulación-apoyo	Cachalote	individuo	\$2,697,822	2073	\$99,548.3 \$5,592.6 USD
Cultural-regulación-apoyo	Ballena minke común	individuo	\$199,986	210	\$748.0 \$42.0 USD
Cultural-regulación-apoyo	Ballena de Bryde	individuo	\$2,777,209	115	\$5,685.3 \$319.4 USD
Provisión	Contribución a la pesca fuera del área	captura/año	\$8,500,000	-	-
Provisión-apoyo	Refugio climático	-	-	-	-
Cultural	Estético, inspiración por naturaleza y biodiversidad (aves y mamíferos marinos)	-	-	-	-
Total	000				

Nota: Para evitar la sobreestimación, estos valores son los rangos mínimos según lo reportado para áreas similares

Fuente: elaboración propia / con base en (2024).

4. CONCLUSIONES

Los servicios ecosistémicos proporcionados por las áreas marinas y costeras constituyen un aporte fundamental para el bienestar humano. En México, así como en otras regiones del mundo, la valoración económica de estos servicios se ha centrado principalmente en su contribución al sustento pesquero, el ecoturismo y la mitigación de los impactos de eventos climáticos extremos, gracias a la presencia de arrecifes y manglares.

Por ejemplo, se han realizado evaluaciones económicas recientes sobre atributos recreativos (Loyola et al., 2021), los manglares (Tanner et al., 2019) y los costos asociados a la contaminación plástica (Zambrano-Monserate & Ruano, 2020) en las Islas Galápagos; así como sobre la disposición a pagar de turistas para la conservación de playas (Castaño-Isaza et al., 2015) y los beneficios económicos del Parque Nacional Isla del Coco (Moreno Díaz et al., 2021). Sin embargo, estos estudios suelen focalizarse en un solo servicio ecosistémico, en lugar de integrar múltiples servicios simultáneamente (Martin et al., 2016). Adicionalmente, existen aún menos evaluaciones de servicios ecosistémicos aplicadas a ecosistemas oceánicos en islas mayormente deshabitadas, tales como Clipperton, Cocos, Malpelo y Revillagigedo.

Basados en trabajo de campo y una revisión exhaustiva de la literatura científica sobre ecosistemas oceánicos, este estudio estima que el valor anual de los servicios ecosistémicos del Parque Nacional Revillagigedo asciende a un mínimo de 12 mil millones de dólares estadounidenses, equivalentes a aproximadamente 214 mil millones de pesos mexicanos. Actualmente, este valor se refleja únicamente en el mercado a través de los gastos en servicios culturales vinculados al ecoturismo, los cuales representan solo el 0.1 % del total estimado.

Los resultados obtenidos a través de más de 250 encuestas realizadas *in situ* indican que la mayoría de los visitantes al PNR estarían dispuestos a pagar una tarifa adicional destinada exclusivamente a la conservación y mantenimiento del parque. Aunque este mecanismo es ampliamente utilizado internacionalmente y la tarifa propuesta representa una fracción mínima de los gastos totales por visitante, resulta evidente que existen oportunidades significativas para incrementar el financiamiento a través de instrumentos y mecanismos económico-financieros externos a la Conanp.

Una estrategia inicial sugerida es la diversificación de actividades ecoturísticas considerando los perfiles de visitantes del PNR, siempre considerando la capacidad de carga del ecosistema y los posibles impactos negativos del turismo antes de implementar modificaciones en los niveles actuales de uso. El ecoturismo de buceo ha demostrado ser una actividad económica sostenible y rentable; de hecho, el ecoturismo con tiburones en México genera un valor económico superior al de todas las pesquerías de tiburón en el país (Cisneros-Montemayor et al., 2013, 2019).

Actualmente, los visitantes del PNR pueden realizar recorridos alrededor de las islas (Figura 11A) y observar delfines (Figura 11C), ballenas, aves y cardúmenes de peces pelágicos, aunque estas experiencias no se comercializan específicamente. No obstante, en otros destinos donde estas actividades constituyen el eje del ecoturismo, se ha documentado que generan beneficios económicos sustanciales. Por ejemplo, en Filipinas, el valor económico asociado con un solo cardumen residente de arenques supera los 21 millones de dólares anuales, considerando el gasto turístico en buceo, snorkel, alojamiento, alimentación y servicios relacionados (Cusack et al., 2021). En Kona, Hawái, se ha estimado que el turismo de natación con delfines genera un valor económico de por vida de al menos 1.5 millones de dólares por cada delfín (*Stenella longirostris*) (Wiener et al., 2020).

La observación de aves representa otra actividad económica para diversificar el ecoturismo. El Parque Nacional Revillagigedo es el único sitio reproductivo conocido de la pardela cenicienta (*Puffinus auricularis*), una de las aves marinas más raras a nivel mundial (Cornell Lab of Ornithology, 2024). Además, es frecuente la observación de especies como el pato bobo café (*Sula leucogaster*; Figura 11D) y fragatas (*Fregata* spp.), así como de manera menos común, patos bobos enmascarados (*S. dactylatra*), de patas azules (*S. nebouxii*) y de patas rojas (*S. sula*). La apreciación ornitológica puede generar importantes beneficios económicos; por ejemplo, Revollo-Fernández (2015) reportó que observadores nacionales e internacionales estarían dispuestos a pagar en promedio 106 y 396 dólares estadounidenses, respectivamente, por realizar esta actividad en Xochimilco, México. Como ejercicio hipotético, si la observación de aves atrajera un número equivalente de visitantes al actual ecoturismo de buceo en el PNR, con un 27 % de turistas nacionales y 73 % internacionales según nuestra encuesta, esta actividad podría generar ingresos aproximados de 979,761 dólares anuales. En comparación, la observación de aves en la remota región ártica de Alaska genera 1.6 millones de dólares anuales (Schwoerer & Dawson, 2022).

Aunque la monetización del valor de los servicios ecosistémicos mediante el ecoturismo es una estrategia atractiva, dada la experiencia de operadores y autoridades en su manejo sostenible, es necesario también considerar otros mecanismos de financiamiento, por ejemplo, los créditos de carbono azul y los créditos por biodiversidad podrían ser potenciales instrumentos económicos clave para el PNR, dada la magnitud del valor ecosistémico estimado en el área. Esta importancia se incrementa al considerar estudios y proyecciones de cambio climático que identifican al PNR como un corredor esencial para la migración de peces, aves y mamíferos

marinos, así como un posible refugio climático para especies marinas en el futuro.

Hasta la fecha, la implementación de mercados a gran escala para estos instrumentos es limitada, salvo algunos casos enfocados en la captura de carbono en manglares, marismas y pastos marinos. Sin embargo, en el marco del Acuerdo Mundial Kunming-Montreal sobre Diversidad Biológica, se ha establecido la meta de movilizar al menos 200 mil millones de dólares anuales para la conservación de la biodiversidad. Sumado a esto, el Acuerdo de París contempla un fondo anual de 100 mil millones de dólares destinado a países en vías de desarrollo para acciones relacionadas con la mitigación del cambio climático. En este contexto, es cada vez más factible resaltar los beneficios derivados del apoyo intergubernamental para la conservación de los valores ecosistémicos de ANP como el Parque Nacional Revillagigedo.

México se encuentra entre los países mejor posicionados para aprovechar sus recursos marinos bajo un enfoque de equidad social y sostenibilidad ambiental, conforme a los principios de la Economía Azul. Este estudio enfatiza la relevancia económica de diversos servicios ecosistémicos, y aunque las estimaciones se basan en la mejor información disponible, es importante reconocer que aún persisten importantes vacíos en el conocimiento sobre esta región. Sin embargo, la diversidad ecosistémica y biológica de los mares mexicanos, y su contribución al bienestar humano tanto a nivel nacional como global, son cada vez más reconocidas. Además, existe una sólida tradición de uso y de investigación científica que facilita la toma de decisiones informadas para el manejo sostenible. El Parque Nacional Revillagigedo ya representa una contribución significativa a los beneficios económicos del país, y es evidente que esta contribución puede incrementarse simultáneamente con la conservación y difusión de su biodiversidad, ecosistemas y valores a nivel nacional e internacional.

5. RECOMENDACIONES PARA POLÍTICAS PÚBLICAS

1. **Implementación y fortalecimiento de mecanismos de financiamiento innovadores basados en servicios ecosistémicos**

Promover los créditos de carbono y créditos por biodiversidad vinculados a las ANP marinas. Estos mecanismos deben estar integrados en marcos regulatorios nacionales que permitan su operación transparente y eficiente, facilitando la canalización de recursos económicos adicionales para conservación y manejo sostenible.

2. **Diversificación y regulación del ecoturismo sustentable**

Fomentar la diversificación de actividades ecoturísticas en las ANP marinas, incluyendo observación de aves, turismo de avistamiento de mamíferos marinos, snorkel y recorridos educativos, siempre bajo estrictos criterios de capacidad de carga y manejo ambiental. Esto implica diseñar planes de manejo turístico que regulen la cantidad y calidad del uso público, evitando impactos negativos sobre la biodiversidad y mejorando la experiencia del visitante.

3. **Tarifas de acceso diferenciadas y destinadas a la conservación**

Establecer tarifas de acceso que reflejen el valor real de los servicios ecosistémicos y que se asignen directamente a la conservación y manejo de las ANP. Estas tarifas deberían considerar la disposición a pagar de visitantes nacionales e internacionales, y su implementación debe ir acompañada de campañas de comunicación para sensibilizar sobre la importancia del financiamiento de la conservación.

4. **Fortalecimiento de capacidades técnicas y científicas**

Invertir en la formación y actualización continua del personal técnico, investigadores y gestores de las ANP marinas para mejorar el monitoreo ambiental, la evaluación socioeconómica y la gestión adaptativa de los recursos naturales, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia científica y la incorporación de tecnologías innovadoras.

5. **Promoción de la gobernanza participativa y colaboración interinstitucional**

Impulsar modelos de gobernanza que integren a operadores turísticos, autoridades federales y estatales, así como a la sociedad civil. Esta participación multisectorial debe garantizar la corresponsabilidad en la protección y manejo, así como la equidad en la distribución de beneficios derivados de las áreas protegidas.

6. **Integración de las ANP marinas en estrategias nacionales de mitigación y adaptación al cambio climático**
Reconocer y potenciar el papel de las ANP marinas como corredores biológicos y refugios climáticos en las políticas públicas de cambio climático. Esto incluye fomentar la protección de ecosistemas clave (por ejemplo, arrecifes) que contribuyan a la captura de carbono.
7. **Fomento de la investigación interdisciplinaria y la difusión del conocimiento**
Incentivar proyectos de investigación multidisciplinaria que profundicen en la valoración integral de los servicios ecosistémicos, así como en la comprensión de los impactos socioeconómicos y ambientales asociados. Además, establecer mecanismos de comunicación efectiva para divulgar resultados científicos y generar conciencia pública sobre la importancia de las ANP marinas.

5.1. Factibilidad de implementación

Estas recomendaciones son factibles en el contexto mexicano por varias razones:

- México cuenta con un marco legal robusto para la protección ambiental y una estructura institucional establecida (CONANP, SEMARNAT) con experiencia en gestión de ANP marinas.
- Existen precedentes internacionales y nacionales exitosos de financiamiento basado en servicios ecosistémicos que pueden adaptarse y replicarse.
- La creciente conciencia social y política sobre la importancia de la conservación marina favorece la aceptación y apoyo para nuevas políticas y mecanismos financieros.
- La infraestructura turística y la experiencia de operadores en ecoturismo sostenible en México constituyen una base sólida para diversificar y regular estas actividades.
- Los acuerdos internacionales, como el Marco Kunming-Montreal y el Acuerdo de París, proveen incentivos financieros y apoyo político para impulsar estrategias nacionales vinculadas a la conservación y mitigación climática.

No obstante, es necesario asegurar la asignación adecuada de recursos, fortalecer la coordinación interinstitucional y mantener un enfoque adaptativo que permita ajustes según la evidencia y la experiencia práctica.

5.1.1. Para tomadores de decisiones

- Incorporar mecanismos innovadores de financiamiento basados en servicios ecosistémicos, como créditos de carbono y créditos de biodiversidad, que aseguren recursos sostenibles para la conservación. Establecer marcos regulatorios claros y transparentes que faciliten su implementación.
- Diversificar y regular el ecoturismo sustentable en ANP marinas, asegurando que la capacidad de carga ambiental no sea superada y que las actividades generen beneficios económicos sin afectar los ecosistemas.
- Implementar tarifas de acceso ajustadas al valor real de los servicios ecosistémicos y que sean directamente destinadas a la gestión y conservación de las ANP marinas. Esta estrategia debe ir acompañada de campañas de comunicación para maximizar la aceptación social.
- Fortalecer la coordinación interinstitucional y la gobernanza participativa, integrando al sector privado, sociedad civil y autoridades en la toma de decisiones para mejorar la eficacia y legitimidad del manejo.
- Integrar a las ANP marinas en las políticas nacionales de mitigación y adaptación al cambio climático, reconociendo su papel clave como corredores biológicos y sumideros de carbono.

5.1.2. Para la comunidad científica

- Desarrollar investigaciones interdisciplinarias y de largo plazo que profundicen en la valoración integral de los servicios ecosistémicos, incorporando aspectos ecológicos, sociales y económicos.
- Mejorar los sistemas de monitoreo ambiental y socioeconómico, promoviendo el uso de tecnologías innovadoras para evaluar el estado y los beneficios generados por las ANP marinas.
- Facilitar la comunicación y transferencia de conocimiento científico a tomadores de decisiones y público general, mediante publicaciones accesibles, talleres y plataformas digitales, para fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia.
- Participar activamente en el diseño y evaluación de políticas públicas, aportando análisis críticos y propuestas para mejorar la gestión adaptativa y sostenible de las áreas protegidas.

5.1.2. Para la sociedad civil

- Informarse y participar activamente en procesos de gobernanza y gestión de las áreas naturales protegidas marinas, apoyando iniciativas que promuevan la conservación y el uso responsable de los recursos.
- Valorar y apoyar el ecoturismo sustentable, eligiendo operadores comprometidos con la conservación y respetuosos del medio ambiente, contribuyendo así al financiamiento directo de la protección de estas áreas.
- Promover la conciencia sobre la importancia de los servicios ecosistémicos y su contribución al bienestar humano, fomentando hábitos y decisiones que reduzcan impactos negativos, como la contaminación y la sobreexplotación.
- Participar en campañas y actividades de educación ambiental, para ampliar el conocimiento y la responsabilidad colectiva en torno a la protección de los ecosistemas marinos.

6. Agradecimientos

Este estudio se realizó bajo un contrato con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Blue Nature Alliance. Se agradecen los comentarios y apoyo de Josué Tiscareño, Olimpia Berdeja, Mario Gómez, Fabio Favoretto, Nasir Tighsazzadeh y Pedro González-Espinosa. La discusión y recomendaciones son únicamente de los autores.

7. Referencias bibliográficas

1. Aanesen, M., & Armstrong, C. (2010). *TEV (Total Economic Value) analysis of a marine environment in Norway*.
2. Aburto-Oropeza, O., Ballesteros, E., Ezcurra, E., Friedlander, A., Henning, B., Hoyos, M., Johnson, A. J., Mascareñas-Osorio, I., Mayorga, J., Muñoz, A., Salinas de León, P., Sánchez-Ortiz, C. A., Thompson, C., & Sala, E. (2016). *Archipiélago de Revillagigedo. Biodiversidad, amenazas y necesidades de conservación*. National Geographic Pristine Seas.
3. Aburto-Oropeza, O., Bedolla, Y., Tomas-Nash, F., Cramer, K. L., Murray, J., Hanson, K. M., Roth, M., Marhaver, K., Walsh, S., Damon, M., Sala, E., Sandin, S., & Sánchez-Ortiz, C. A. (2006). *An ecological and economic baseline for the Revillagigedo Archipelago Biosphere Reserve, Mexico*. UCSD. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35866.08640>
4. Balvanera, P., Quijas, S., Karp, D. S., Ash, N., Bennett, E. M., Boumans, R., Brown, C., Chan, K. M. A., Chaplin-Kramer, R., Halpern, B. S., Honey-Rosés, J., Kim, C.-K., Cramer, W., Martínez-Harms, M. J., Mooney, H., Mwampamba, T., Nel, J., Polasky, S., Reyers, B., ... Walz, A. (2017). Ecosystem services. In M. Walters & R. J. Scholes (Eds.), *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks* (pp. 39–78). Springer International Publishing.
5. Becerril-García, E. E., Hoyos-Padilla, E. M., Henning, B., & Salinas-de León, P. (2020). Sharks, rays, and chimaeras of the Revillagigedo National Park: An update of new and confirmed records. *Journal of Fish Biology*, 97(4), 1228–1232. <https://doi.org/10.1111/jfb.14457>
6. Blasiak, R., Jouffray, J.-B., Wabnitz, C. C. C., Sundström, E., & Österblom, H. (2018). Corporate control and global governance of marine genetic resources. *Science Advances*, 4(eaar5237). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar5237>
7. Blue Nature Alliance. (2023). *Revillagigedo National Park: Sustainable financing options* (p. 26).
8. Braat, L. C., & De Groot, R. (2012). The ecosystem services agenda: Bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011>
9. Castaño-Isaza, J., Newball, R., Roach, B., & Lau, W. W. Y. (2015). Valuing beaches to develop payment for ecosystem services schemes in Colombia's Seaflower marine protected area. *Ecosystem Services*, 11, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.10.003>
10. Chami, R., Fullenkamp, C., Berzaghi, F., Español-Jiménez, S., Marcondes, M., & Palazzo, J. (2020). On valuing nature-based solutions to climate change: A framework with application to elephants and whales. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3686168>
11. Cheeseman, T., Southerland, K., Acebes, J. M., Audley, K., Barlow, J., Beijer, L., ... Clapham, P. (2023). A collaborative and near-comprehensive North Pacific humpback whale photo-ID dataset. *Scientific Reports*, 13(1), 10237. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36458-5>
12. Cisneros-Montemayor, A. M., Barnes-Mauthe, M., Al-Abdulrazzak, D., Navarro-Holm, E., & Sumaila, U. R. (2013). Global economic value of shark ecotourism: Implications for conservation. *Oryx*, 47(3), 381–388. <https://doi.org/10.1017/S0030605312001718>
13. Cisneros-Montemayor, A. M., Becerril-García, E. E., Berdeja-Zavala, O., & Ayala-Bocos, A. (2019). Shark ecotourism in Mexico: Scientific research, conservation, and contribution to a Blue Economy. In *Advances in Marine Biology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2019.08.003>
14. Cisneros-Montemayor, A. M., & Sumaila, U. R. (2010). A global estimate of benefits from ecosystem-based marine recreation: Potential impacts and implications for management. *Journal of Bioeconomics*, 12, 245–268. <https://doi.org/10.1007/s10818-010-9092-7>
15. Cisneros-Montemayor, A. M., Torres-Irineo, E., Rodríguez, R. L., & Torre, J. (2020). Nature-based marine tourism in the Gulf of California and Baja California Peninsula: Economic benefits and key species. *Natural Resources Forum*, 44(2), 109–126. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12193>
16. Clark, R., Reed, J., & Sunderland, T. (2018). Bridging funding gaps for climate and sustainable development: Pitfalls, progress and potential of private finance. *Land Use Policy*, 71, 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.013>
17. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2021). *Se integra el Parque Nacional Revillagigedo a la Red de Áreas Marinas Protegidas del Corredor Marino del Pacífico Este Tropical (CMAR)*. Gob.mx. <http://www.gob.mx/conanp/articulos/se-integra-el-parque-nacional-revillagigedo-a-la-red-de-areas-marinas-protegidas-del-corredor-marino-del-pacifico-este-tropical-cmar?idiom=es>
18. CONANP. (2019). *Programa de manejo: Parque Nacional Revillagigedo*.
19. Cornell Lab of Ornithology. (2024). *Townsend's shearwater—eBird*. <https://ebird.org/species/towshe1>
20. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
21. Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
22. Cusack, C., Sethi, S. A., Rice, A. N., Warren, J. D., Fujita, R., Ingles, J., Flores, J., Garchitorena, E., & Mesa, S. V. (2021). Marine ecotourism for small pelagics as a source of alternative income generating activities to fisheries in a tropical community. *Biological Conservation*, 261, 109242. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109242>
23. Ducros, A., & Steele, P. (2022). *Biocredits to finance nature and people: Emerging lessons*. International Institute for Environment and Development. <https://www.iied.org/21216iied>
24. García-Navarrete, P. G., Escalante, T., Espinosa, D., & Morrone, J. J. (2023). Evolutionary biogeography of the Revillagigedo Archipelago, Mexico. *Journal of Natural History*, 57(9–12), 685–709. <https://doi.org/10.1080/00222933.2023.2203337>
25. Hahn, I., Hogeback, S., Römer, U., & Vergara, P. M. (2012). Biodiversity and biogeography of birds in Pacific Mexico along an isolation gradient from mainland Chamela via coastal Marias to oceanic Revillagigedo Islands. *Vertebrate Zoology*, 62(1), 123–144. <https://doi.org/10.3897/vz.62.e31373>
26. Isla, A. (2005). Conservation as enclosure: An ecofeminist perspective on sustainable development and biopiracy in Costa Rica. *Capitalism Nature Socialism*, 16(3), 49–61. <https://doi.org/10.1080/10455750500208789>
27. Lau, W. W. Y. (2013). Beyond carbon: Conceptualizing payments for ecosystem services in blue forests on carbon and other marine and coastal ecosystem services. *Ocean & Coastal Management*, 83, 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.03.011>
28. Laurans, Y., & Mermet, L. (2014). Ecosystem services economic valuation, decision-support system or advocacy? *Ecosystem Services*, 7, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.10.002>

29. Loyola, R., Wang, E., & Kang, N. (2021). Economic valuation of recreational attributes using a choice experiment approach: An application to the Galapagos Islands. *Tourism Economics*, 27(1), 86–104. <https://doi.org/10.1177/1354816619885236>
30. Marcos, C., Díaz, D., Fietz, K., Forcada, A., Ford, A., García-Charton, J. A., Gofii, R., Lenfant, P., Mallol, S., Mouillot, D., Pérez-Marcos, M., Puebla, O., Manel, S., & Pérez-Ruzafa, A. (2021). Reviewing the ecosystem services, societal goods, and benefits of marine protected areas. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.613819>
31. Marine Protection Atlas. (2024). *Revillagigedo*. <https://mpatlas.org/sites/83/>
32. Martin, S. L., Ballance, L. T., & Groves, T. (2016). An ecosystem services perspective for the Oceanic Eastern Tropical Pacific: Commercial fisheries, carbon storage, recreational fishing, and biodiversity. *Frontiers in Marine Science*, 3, 50. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00050>
33. Medoff, S., Lynham, J., & Raynor, J. (2022). Spillover benefits from the world's largest fully protected MPA. *Science*, 378(6617), 313–316. <https://doi.org/10.1126/science.abn0098>
34. Moreno Diaz, M., Jiménez, K., & Villalobos, C. (2021). Approximation of the benefits of socioeconomic activities in Cocos Island National Park and the effects of climate change. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 16, 14–26. <https://doi.org/10.4067/S0718-235X20210001000014>
35. Nowicki, M., DeVries, T., & Siegel, D. A. (2022). Quantifying the carbon export and sequestration pathways of the ocean's biological carbon pump. *Global Biogeochemical Cycles*, 36(3), e2021GB007083. <https://doi.org/10.1029/2021GB007083>
36. Palacios-Abrantes, J., Roberts, S. M., Ten Brink, T., Cashion, T., Cheung, W. W. L., Mook, A., & Nguyen, T. (2023). Incorporating protected areas into global fish biomass projections under climate change. *FACETS*, 8, 1–16. <https://doi.org/10.1139/facets-2022-0101>
37. Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R. T., Başak Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S. M., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S., Al-Hafedh, Y. S., Amankwah, E., Asah, S. T., ... Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>
38. Pelamatti, T., Rios-Mendoza, L. M., Hoyos-Padilla, E. M., Galván-Magaña, F., De Camillis, R., Marmolejo-Rodríguez, A. J., & González-Armas, R. (2021). Contamination knows no borders: Toxic organic compounds pollute plastics in the biodiversity hotspot of Revillagigedo Archipelago National Park, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112623. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112623>
39. R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing* (4.3.3) [Computer software].
40. Saif, O., Keane, A., & Staddon, S. (2022). Making a case for the consideration of trust, justice, and power in conservation relationships. *Conservation Biology*, 36(4), e13903. <https://doi.org/10.1111/cobi.13903>
41. Schutter, M. S., Cisneros-Montemayor, A., Voyer, M., Allison, E. H., Domarchuk-White, C., Benzaken, D., & Mohammed, E. Y. (2024). Mapping flows of blue economy finance: Ambitious narratives, opaque actions, and social equity risks. *One Earth*, 7(4), 638–649. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.02.009>
42. Schwoerer, T., & Dawson, N. G. (2022). Small sight—Big might: Economic impact of bird tourism shows opportunities for rural communities and biodiversity conservation. *PLOS ONE*, 17(7), e0268594. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268594>
43. Tanner, M. K., Moity, N., Costa, M. T., Marin Jarrin, J. R., Aburto-Oropeza, O., & Salinas-de León, P. (2019). Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation. *Ecological Economics*, 160, 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.01.024>
44. Wiener, C., Bejder, L., Johnston, D., Fawcett, L., & Wilkinson, P. (2020). Cashing in on spinners: Revenue estimates of wild dolphin-swim tourism in the Hawaiian Islands. *Frontiers in Marine Science*, 7, 660. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00660>
45. Zambrano-Monserrate, M. A., & Ruano, M. A. (2020). Estimating the damage cost of plastic waste in Galapagos Islands: A contingent valuation approach. *Marine Policy*, 117, 103933. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103933>

8. Anexo

Encuesta para visitantes al PNR (versión en inglés).

Figura 10.



SURVEY: ECONOMIC FLOW GENERATED BY SCUBA DIVERS IN REVILLAGIGEDO NATIONAL PARK, MEXICO

Please leave blank any questions you don't feel comfortable answering. This survey is completely anonymous and will not be seen by anyone aside from researchers. The information provided will be used exclusively for scientific research.

- Dates of trip: _____
- Liveaboard: _____
- Occupation: _____
- Nationality: _____
- Current country of residence: _____
- Age: _____
- Gender: _____
- Scuba diving experience (number of dives): _____
- Scuba diving level (highest level obtained):
☐ Open Water ☐ Advanced ☐ Rescue Diver ☐ Divemaster
☐ Dive Instructor ☐ Other: _____
- Number of companions traveling with you: _____ Divers _____ Non divers
- Please order your preference for diving with the following animals from 1 to 5, where 1 your top priority and 5 is your last choice.
☐ Fish ☐ Whales ☐ Dolphins ☐ Invertebrates
☐ Sharks ☐ Mantas ☐ Other: _____
- Would you repeat this trip? ☐ Yes ☐ No
- Will you recommend it? ☐ Yes ☐ No
- Approximately, how much did you invest, PER PERSON, in the following categories to come dive in Revillagigedo (USD)?

Liveaboard:	☐ 2500 - 3000	☐ 3000 - 3500	☐ 3500 - 4000	☐ 4000 - 5000
Airplane:	☐ -250	☐ 250 - 500	☐ 500 - 750	☐ 750+
Taxi/Gas:	☐ -25	☐ 25 - 75	☐ 75 - 150	☐ 150+
Lodging:	☐ 50 - 100	☐ 100 - 150	☐ 150 - 200	☐ 200+
Tips	☐ -100	☐ 100 - 250	☐ 250 - 400	☐ 400+
Others:	Amount: _____			
- Airline(s) used: _____
- Length of your stay in Mexico (days): _____
- ¿Would you be willing to contribute an additional amount directed at conservation in Revillagigedo?
☐ Yes ☐ No
 Amount (USD): ☐ -20 ☐ 20 - 40 ☐ 40 - 60 ☐ 60 - 80
☐ 80 - 100 ☐ 100+ ☐ Other: _____
- Did you identify any threats to Revillagigedo's fauna during your trip?

☐ Illegal fishing	☐ Pollution	☐ Abandoned nets	☐ Other liveaboard ships
☐ Plastic	☐ None	☐	☐
☐ Other: _____			
- The current trip, is your original reservation or was changed by covid? _____
- if was changed, when was your original trip? _____

CAPÍTULO SIETE

LA VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS COMO UN COMPLEMENTO PARA EL MANEJO Y ADMINISTRACIÓN DE LA PESCA DEPORTIVA DE CAPTURA Y LIBERACIÓN EN EL PN ARRECIFES DE XCALAK

Denisse Ángeles Solís e Irving Leonardo Chávez Estrada¹

Resumen

Los ecosistemas nos proveen de diversos servicios ecosistémicos (SE) de los que dependemos y hacemos uso los seres humanos, estos servicios están en función de su estado de conservación y muchos de ellos están presentes en las Áreas Naturales Protegidas. Para el caso del estado de Quintana Roo, muchas de las actividades turísticas que se realizan dependen en gran medida de los SE. En este artículo nos enfocaremos en la actividad de pesca deportiva de liberación (Fly fishing) que se realiza en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, se presentan los resultados obtenidos durante el 2024 como parte del Análisis de Valoración de Servicios Ecosistémicos a través de métodos participativos y económicos que nos permiten visibilizar la alta dependencia que tiene esta actividad con la presencia de manglares sanos, la identificación de zonas prioritarias para el desarrollo de esta actividad y a su vez, resalta que la actividad de Fly fishing es una de las actividades con mayor derrama económica en la zona. A la par, se analizan los diversos instrumentos normativos como el Programa de Manejo, Programa de Uso Público, entre otros con el fin de contar con un contexto más amplio sobre la actividad, identificar el contenido que requiere actualización para poder incidir en acciones que permitan regular y ordenar la actividad de pesca deportiva de liberación en el ANP.

Palabras clave: humedales, pesca deportiva de liberación, Área Natural Protegida, servicios ecosistémicos y manejo

Abstract: Ecosystems provide us with diverse ecosystem services (ES) which we depend on and use as human beings. These services rely mostly on their conservation status and many of them are present in Natural Protected Areas (NAP). In the state of Quintana Roo many of the tourist activities depend largely on ES. In this article, we will focus on the catch and release fishing activity (Fly Fishing) carried out in the National Park Arrecifes de Xcalak (NPAX). The results obtained during 2024 are presented as part of an Ecosystem Services Valuation Analysis, performed through participatory and economic methods, allowing us to visualize, the high dependence of the activity with the presence of healthy mangroves and the detection of priority areas for its development. At the same time, the analysis highlights Fly fishing as one of the activities with the greatest economic impact in the area. Simultaneously, various regulatory instruments, such as the National Park Management Program and the Public Use Program, are analyzed to gain a broader understanding of the activity, helping us to identify the content requiring updating to influence actions that regulate and give order to the catch and release recreational fishing in the NPA.

Key words: Wetlands, catch and release (Fly fishing), Natural Protected Area, ecosystem services and management.

Introducción

Actualmente, el estado de Quintana Roo es considerado como uno de los destinos de mayor visitación turística del mundo debido a la gran riqueza cultural y natural que alberga. Este

1. Licenciatura, Parque Nacional Arrecifes de Xcalak-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
Correos: denisse.angeles@conanp.gob.mx e irving.chavez@conanp.gob.mx

conjunto de factores crea un escenario único en el que la naturaleza y la gran biodiversidad que alberga esta región juegan un papel fundamental, siendo la base para la provisión de diversos servicios ecosistémicos (SE) que en un sentido más amplio son reconocidos por la Plataforma Intergubernamental sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) como las contribuciones de la naturaleza para la gente (IPBES, 2019), motivo por el cual, es una de las entidades con mayor número de Áreas Naturales Protegidas (ANP) que buscan garantizar una visión a futuro, que mantenga en el tiempo tanto la riqueza etnoecológica, como las actividades económicas y de aprovechamiento de manera sustentable.

Los diversos ecosistemas presentes en el estado de Quintana Roo son la base fundamental para el desarrollo sustentable, ya que proveen una amplia gama de beneficios esenciales para el bienestar humano. Tradicionalmente, estos beneficios han sido clasificados como servicios ecosistémicos (SE) y de acuerdo a la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA) de 2005 se tienen identificadas cuatro categorías principales: (a) **servicios de provisión**, que incluyen productos tangibles como alimento, madera y agua; (b) **servicios de regulación**, que abarcan el control de procesos ecológicos vitales como la regulación del clima; (c) **servicios culturales**, que comprenden los beneficios no materiales como el turismo y los valores espirituales; y (d) **servicios de apoyo**, esenciales para el funcionamiento de los demás servicios, como el ciclo de nutrientes (Rodríguez-Gracias et al., 2016).

En una perspectiva más amplia, el informe de la evaluación mundial del IPBES (2019) propone el término **contribuciones de la naturaleza a las personas**, un concepto que engloba tanto los bienes como los servicios ecosistémicos. Estas contribuciones se manifiestan como beneficios regulatorios (funciones y estructuras naturales que modifican o mantienen las condiciones ambientales y la generación de otros beneficios), beneficios materiales (sustancias y elementos naturales que sostienen la existencia física de las personas y la infraestructura necesaria para el funcionamiento de una sociedad), y beneficios no materiales (contribuciones intangibles que enriquecen la calidad de vida a nivel individual y colectivo. Estas contribuciones de la naturaleza pueden consumirse o no físicamente en el proceso (por ejemplo, al realizar la observación de algún animal en su hábitat como parte de alguna actividad recreativa o actividades de pesca o caza).

La comprensión de la intrínseca dependencia humana de la salud de los ecosistemas, resaltada tanto por la perspectiva del IPBES sobre las contribuciones de la naturaleza a las personas como por el concepto general de servicios ecosistémicos, subraya la necesidad de garantizar un aprovechamiento que asegure la disponibilidad de estos beneficios a largo plazo. En este sentido, la calidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos se fundan como factores primordiales, directamente condicionados por el estado de salud de los ecosistemas. De esta manera, las acciones de manejo y conservación implementadas en las Áreas Naturales Protegidas (ANP) adquieren una relevancia significativa al influir directamente en las modalidades en la que los diferentes usuarios aprovechan los recursos naturales (Mena-Alvarez et al., 2016).

En concordancia con lo anterior, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) define el aprovechamiento sustentable como la utilización de los recursos naturales de una manera que respeta la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, asegurando su disponibilidad por periodos indefinidos. Por consiguiente, las actividades turísticas que se desarrollan dentro de las ANP deben ser cuidadosamente planificadas y reguladas para que puedan contribuir simultáneamente a la conservación de la biodiversidad y a la generación de una derrama económica que beneficie a las poblaciones locales (Covarrubias et al., 2019).

Las ANP son consideradas como parte fundamental del capital natural, dada la esencialidad de los servicios ecosistémicos que proveen para el mantenimiento de la biodiversidad y la mejora del bienestar social en las comunidades. En la actualidad, se emplean diversas técnicas de valoración económica que permiten asignar un valor monetario a estos servicios (Gandini et al., 2019). Por ello, resulta necesario contar con diversos instrumentos participativos que permitan a los gestores de estos sitios a ordenar y regular las actividades de manera efectiva con base en la vocación de los ecosistemas presentes, los retos socioambientales actuales y armonizando todo esto con las estrategias previstas en los Programas de Manejo y políticas públicas transversales.

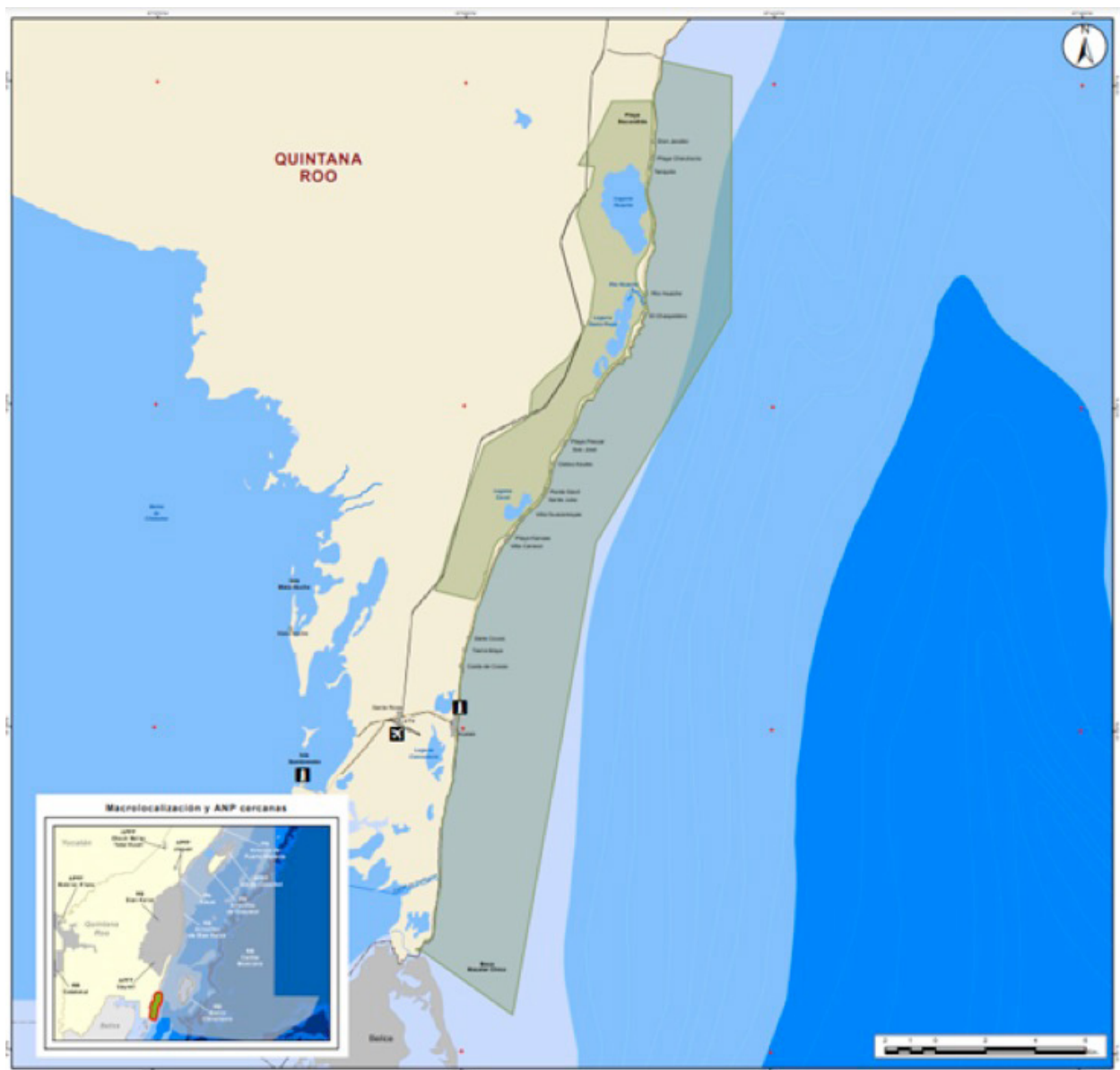
En el contexto de la relevancia de las Áreas Naturales Protegidas para la conservación de la biodiversidad y el fomento del bienestar social, y considerando la creciente necesidad de valorar económicamente sus servicios ecosistémicos para una gestión efectiva, el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) emerge como un área de estudio de gran importancia. Ubicado en la costa sur del estado de Quintana Roo, aproximadamente a 25 km de la localidad de Mahahual y colindando con zonas de importancia ecológica como Xahuayxol al norte, la Reserva Estatal Santuario del Manatí Bahía de Chetumal al oeste, la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano al este y la Reserva Marina Bacalar Chico de Belice al sur (Ángeles-Solís et al., 2024), el PNAX forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Este extenso corredor biológico, de importancia internacional, abarca las costas de México, Belice, Guatemala y Honduras; además de ser designado como humedal de importancia internacional por la convención RAMSAR (sitio 1320) en 2004, destacando su alto valor ambiental y ecológico.

Establecido mediante Decreto Presidencial el 27 de noviembre de 2000, el Parque Nacional Arrecifes de

Xcalak abarca una superficie aproximada de 17,949 hectáreas (ha), de las cuales 13,495 ha corresponden a ecosistemas marinos y 4,543 ha a humedales, incluyendo lagunas permanentes y temporales (CONANP-SEMARNAT, 2004). Dentro de sus límites, el PNAX alberga una notable diversidad de ecosistemas interconectados, que incluyen arrecifes de coral, extensas zonas de manglar, pastos marinos, vegetación halófila o duna costera, selva baja, playas y lagunas costeras, sustentando a su vez una rica variedad de especies animales y vegetales (Figura 1).

Entre estos ecosistemas, los manglares presentes en el PNAX desempeñan un papel crucial, debido a su conectividad con otros hábitats, que proporcionan múltiples servicios ecosistémicos esenciales: actúan como refugio y zonas de crianza para numerosas especies marinas y terrestres, regulan el clima local, ofrecen una barrera natural de protección costera contra la erosión y los embates de tormentas, contribuyen a la purificación del agua y funcionan como importantes sumideros de carbono, mitigando los efectos del cambio climático global. A pesar de su vital importancia para la biodiversidad y la resiliencia costera, los manglares del PNAX se enfrentan a diversas amenazas tanto de origen local como global, incluyendo el cambio de uso de suelo, la pesca ilegal con redes, la acumulación de residuos sólidos arrastrados por las corrientes marinas, el turismo no regulado, la proliferación de sargazo y los impactos del cambio climático.

Figura 1. Poligonal del PN Arrecifes de Xcalak.



Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2022) e INEGI (2025).

Estudios como el de Herrera-Silveira y colaboradores (2022) han revelado el estado de salud preocupante de estos ecosistemas en el PNAX y su zona de influencia: solo una fracción (13.89 ha) se considera conservada, mientras que una superficie considerable se encuentra degradada (52.70 ha) o muerta (214.89 ha). En respuesta a esta situación, desde 2023, la población local, en colaboración con investigadores y cuerpo técnico del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES), Organizaciones de la sociedad civil, el Instituto de Biodiversidad y Áreas Naturales Protegidas de Quintana Roo (IBANQROO) y la CONANP a través de la Dirección del PNAX, han implementado acciones de restauración ecológica con el objetivo de preservar los valiosos servicios ecosistémicos que brindan estos humedales.

En este marco de esfuerzos por la conservación y la gestión sostenible, durante el año 2024, se llevó a cabo un Análisis y Valoración de Servicios Ecosistémicos (AVSE) de los humedales en Xcalak como parte del proyecto “Conservación y uso sostenible de la biodiversidad marina en el Caribe Mexicano”, implementado por la Cooperación Técnica Alemana (GIZ) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) a través de la dirección del PNAX. Este AVSE se enfocó en su relación con una de las principales actividades económicas del ANP: la pesca deportiva de captura y liberación (Fly fishing), con el doble objetivo de que los usuarios (guías, capitanes, turistas, hoteles y administradores) reconozcan la importancia de los humedales y de proporcionar información valiosa para una mejor toma de decisiones en la gestión del ANP (Erazo et al., 2024).

La pesca de captura y liberación es una práctica que cuenta con una trayectoria de aproximadamente 50 años a nivel mundial y que, en los últimos años, ha cobrado una relevancia significativa como una alternativa de turismo de bajo impacto ambiental. En el PNAX, esta actividad se ha consolidado como una de las principales fuentes de ingresos económicos, superando incluso al buceo autónomo en términos de derrama económica.

Una de las características distintivas de la pesca deportiva de liberación es su dependencia de ecosistemas costeros específicos. Esta actividad se desarrolla en zonas de poca profundidad con sustratos arenosos y limosos, a menudo con presencia de pastos marinos y en la línea costera adyacente a manglares (Palomo et al., 2021). Estos ecosistemas son cruciales, ya que proveen el hábitat necesario para especies de alto valor para la pesca deportiva de liberación como la palometa (*Trachinotus falcatus*), el sábalo real (*Megalops atlanticus*), el macabí (*Albula vulpes*) y el róbalo (*Centropomus undecimalis*). Es importante destacar que esta modalidad de pesca también se practica en áreas colindantes al PNAX, como la Reserva Estatal Santuario del Manatí Bahía de Chetumal (RESMBCH) y la Reserva Marina Bacalar Chico de Belice, lo que subraya su importancia regional y transfronteriza (Figura 2).

Figura 2. Guías locales del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak con un ejemplar de Sábalo real (*Megalops atlanticus*) una especie de importancia para la actividad de pesca deportiva de liberación en la región. Fotografía: “Crazy Brothers” Felipe Miravete “Pío” y Rubén Miravete “Zurdo”.



Fuente: archivo Conanp (2023). PN Xcalak.

El Fly fishing es una técnica específica dentro de la pesca deportiva, que se caracteriza por la captura selectiva de diferentes especies dependiendo de la región donde se desarrolle la actividad, utilizando una caña y un señuelo artificial denominado “mosca”. Esta mosca, elaborada artesanalmente, imita a los crustáceos que forman parte de la dieta de los peces objetivo. Un principio fundamental de esta práctica es la liberación inmediata y sin daño del ejemplar capturado en la misma zona donde se pescó. Adicionalmente, para minimizar el impacto en el entorno y evitar perturbar a los peces, los guías de las embarcaciones suelen utilizar una palanca para maniobrar silenciosamente, evitando el ruido del motor. A nivel global, la pesca de captura y liberación se reconoce cada vez más como una estrategia de manejo pesquero y una forma de ecoturismo que busca equilibrar la conservación de las poblaciones de peces con los beneficios económicos para las comunidades locales, al minimizar la mortalidad directa causada por la pesca. Esta percepción de sostenibilidad, unida a su capacidad para generar ingresos significativos, ha impulsado su adopción en diversos destinos alrededor del mundo.

En la búsqueda de un manejo efectivo y una administración sostenible de las Áreas Naturales Protegidas, los programas de manejo se constituyen como instrumentos fundamentales de regulación y planeación que, proporcionan una descripción detallada del área protegida, establecen una visión a largo plazo y definen los objetivos generales y particulares que justifican la creación del ANP. Además, contienen un diagnóstico exhaustivo de las características físicas, bióticas y socioeconómicas del área, una zonificación basada en la vocación del territorio y los ecosistemas presentes, la identificación de las actividades permitidas y un conjunto de reglas administrativas de observancia general para todos aquellos que realicen actividades dentro del PNAX.

A pesar de su importancia, el programa de manejo del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) no incluye información específica sobre la relevancia de la actividad de pesca deportiva de liberación como elemento clave para el desarrollo sostenible de las comunidades asociadas al ANP. Si bien esta actividad es permitida dentro del parque, se omiten datos importantes como el número de guías, la afluencia de turistas dedicados a esta práctica, el número de embarcaciones que la ofrecen, los hoteles que la promueven y la cantidad de familias que se benefician directamente de ella (Erazo et al., 2023). Esta ausencia de información detallada contrasta con la creciente importancia económica de la pesca deportiva de liberación en la región.

Por consiguiente, se vuelve particularmente relevante al considerar la regla administrativa número 62 del programa de manejo, la cual establece un límite máximo de 40 embarcaciones para la prestación de servicios turísticos (30 de la Sociedad Cooperativa local y 10 privadas), con una capacidad total de transporte que no debe exceder los 250 usuarios por día. La misma regla condiciona estos límites a los resultados del programa de monitoreo de límites de cambio aceptable, sugiriendo la necesidad de una base de datos precisa para ajustar estas cifras. En este contexto, la ausencia de datos específicos sobre la pesca deportiva de liberación dificulta la aplicación efectiva de esta y otras regulaciones, así como la evaluación de su impacto real.

Por lo tanto, la dirección del PNAX se planteó como uno de sus principales objetivos durante el año 2024 la obtención de información actualizada y detallada sobre la actividad de pesca deportiva de liberación. Esta iniciativa se concibió como una estrategia de manejo para regularizar aquellas embarcaciones que realizan la actividad sin la autorización de la CONANP. Además de tener el propósito de generar insumos sólidos para la modificación del programa de manejo, obtener una visión real del número de embarcaciones activas en el sitio para promover su regularización, replantear una nueva zonificación que se ajuste a las necesidades actuales y, crucialmente, evidenciar la fuerte dependencia que tiene esta actividad económica de los servicios ecosistémicos que proveen los humedales, particularmente para la presencia de las especies de interés para el Fly fishing.

En consecuencia, el presente artículo tiene como objetivo principal presentar de manera sintetizada los resultados obtenidos del Análisis y Valoración de Servicios Ecosistémicos (AVSE) de los humedales en Xcalak, llevado a cabo en 2024, así como los resultados del análisis de los diversos instrumentos normativos existentes para regular las actividades turísticas en el área. La finalidad última es proporcionar información valiosa que contribuya al fortalecimiento del manejo y la administración de esta y otras Áreas Naturales Protegidas que enfrentan situaciones similares, tomando como base la integración de la valoración de los servicios ecosistémicos y las particularidades de la pesca deportiva de liberación en sus instrumentos de planificación y regulación.

METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos de este estudio, que incluyen la valoración de los servicios ecosistémicos de los humedales del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) con relación con la pesca deportiva de liberación y el análisis de los instrumentos normativos para su gestión, se implementó una metodología que combinó enfoques participativos y económicos (Erazo et al., 2023), complementada con una revisión documental exhaustiva por parte de la dirección del ANP.

Métodos Participativos:

Se llevaron a cabo diversos talleres participativos, reconociendo la importancia del conocimiento local y la experiencia de los actores clave involucrados en la actividad de pesca deportiva de liberación y la gestión del PNAX. Entre los participantes destacaban los guías de Fly fishing, representantes de hoteles y clubes que ofrecen esta actividad, así como personal de la administración del PNAX y de la RESMBCH.

A través de estas sesiones colaborativas, se desarrollaron los siguientes procesos:

- **Mapeo y Priorización de Zonas de Pesca:** Mediante la asignación de puntajes por parte de los guías expertos, se identificaron y priorizaron las áreas dentro del PNAX y la RESMBCH donde se realiza la pesca deportiva de liberación. Este ejercicio permitió obtener un mapa detallado de las zonas de mayor uso y asociar estas áreas con sus características ambientales específicas y con la zonificación actual, información crucial para comprender la dependencia de la actividad con los ecosistemas presentes.
- **Identificación de Amenazas y Actores:** Se facilitó la identificación, por parte de los participantes de las principales amenazas o presiones que perciben sobre los humedales asociados a la pesca deportiva de liberación, así como los actores que contribuyen a estas presiones. Esta información es fundamental para diseñar estrategias de manejo que mitiguen los impactos negativos.

Método Económico

Se empleó la aplicación de encuestas dirigidas a una muestra representativa de los actores clave: guías de Fly fishing, representantes de hoteles y clubes, y turistas que practican esta actividad en el PNAX. El objetivo de estas encuestas fue recopilar datos económicos relevantes para la valoración de los servicios ecosistémicos. Los resultados preliminares obtenidos a través de las encuestas fueron posteriormente validados y enriquecidos mediante talleres participativos, asegurando la representatividad y la robustez de la información. Los métodos económicos específicos utilizados incluyeron:

- **Precios de Mercado:** Se recopilaron datos sobre el valor de la producción económica generada por la pesca deportiva de liberación en la zona, comparándolo con el valor de la producción de la pesca comercial de langosta, otra actividad económica relevante en el área. Este análisis permitió dimensionar la contribución económica relativa del Fly fishing.
- **Valoración Contingente:** Se aplicaron preguntas de disponibilidad a pagar (DAP) a los turistas para determinar su disposición económica a contribuir con acciones de conservación específicas dirigidas a los humedales del PNAX. Este método busca internalizar el valor no de mercado de los servicios ecosistémicos en las decisiones de gestión.

Revisión Documental

Adicionalmente la dirección del ANP llevó a cabo una revisión exhaustiva de los instrumentos normativos y de planificación que rigen el PNAX y las actividades turísticas en su interior. Los documentos analizados incluyeron el Programa de Manejo del PNAX (CONANP-SEMARNAT, 2004), el Programa de Uso Público (CONANP-SEMARNAT, 2004), y el Estudio de Límite de Cambio Aceptable para las actividades turísticas recreativas, (CONANP-PROMANP-FOR-PNAX-2017). El objetivo de esta revisión fue identificar la información existente sobre la pesca deportiva de liberación, las áreas donde se requiere actualización o donde la información es inexistente, con el fin de fundamentar la propuesta de acciones de manejo y conservación más eficientes y adaptadas a la realidad actual de la actividad.

Proceso de Regularización

Finalmente, como una acción complementaria para la gestión y el ordenamiento de la pesca deportiva de liberación, la dirección del PNAX implementó un proceso de regularización para la obtención de las autorizaciones de actividades lucrativas (específicamente para la pesca deportiva de liberación) emitidas por la Dirección Regional Península de Yucatán y Caribe Mexicano (DRPYyCM). Para informar y facilitar este proceso, se llevaron a cabo diversas reuniones informativas dirigidas a los guías de Fly fishing, explicando detalladamente el procedimiento para realizar el trámite para la obtención de permisos ante la CONANP (Figura 3). Esta acción busca asegurar que la actividad se desarrolle dentro del marco legal y bajo criterios de sostenibilidad.

Figura 3. Reuniones informativas sobre el trámite de autorizaciones (Fuente: Archivo CONANP, 2024).



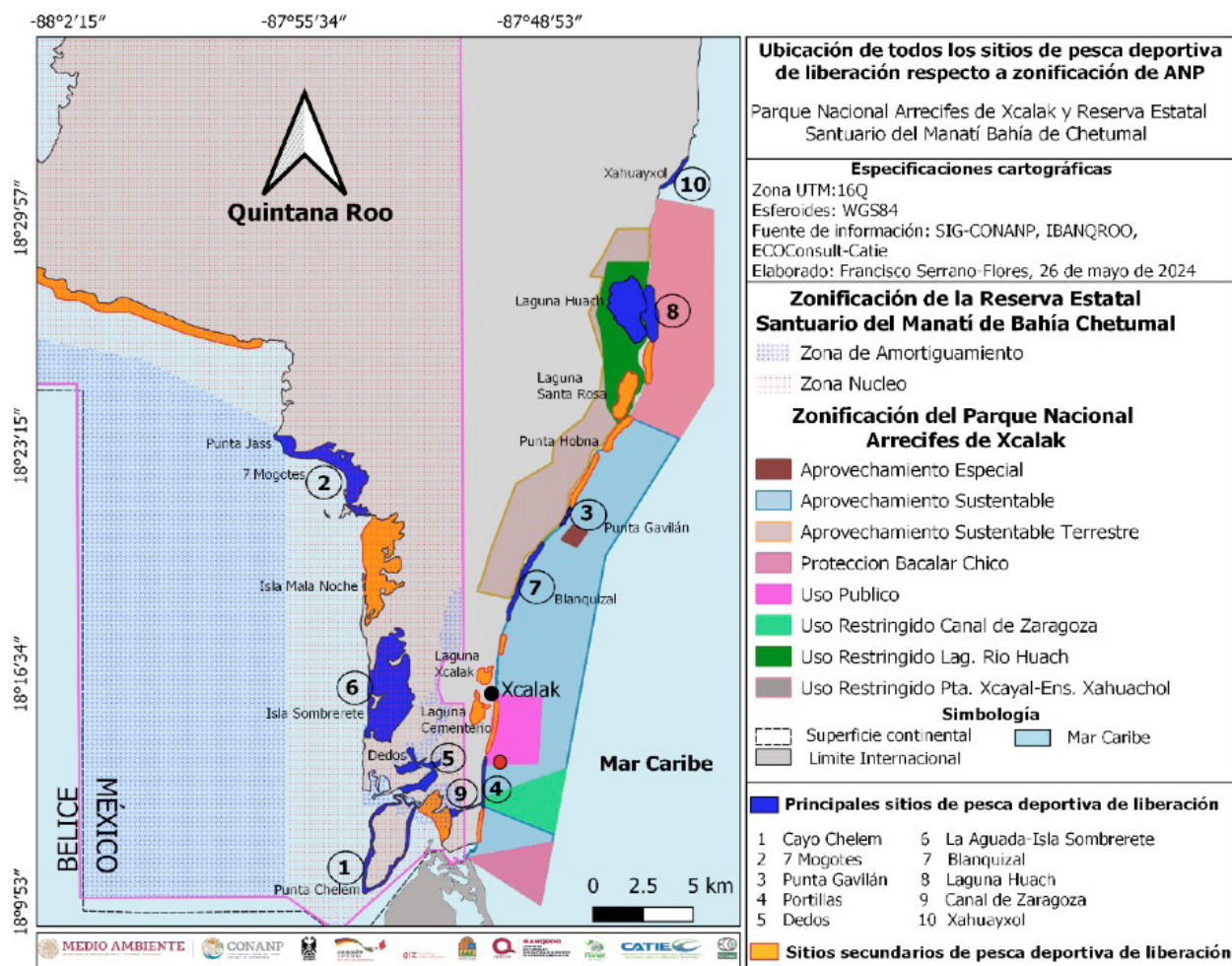
Fuente: archivo Conanp. PN Xcalak.

Resultados obtenidos:

El análisis de las encuestas aplicadas en el marco del Análisis de Valoración de Servicios Ecosistémicos (AVSE) de 2024 reveló información relevante sobre la actividad de pesca deportiva de liberación (Fly fishing) en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX). Se identificaron 32 embarcaciones dedicadas a esta actividad, operadas por un total de 60 guías (30 capitanes y 30 marineros). Además, se contabilizaron 4 hoteles y/o clubes de pequeña escala que ofrecen hospedaje a los turistas interesados en esta modalidad de pesca. Los turistas para el Fly fishing en el PNAX son de origen extranjero, proveniente principalmente de Estados Unidos, Canadá, Europa, Argentina y Japón, con un porcentaje significativo de visitantes recurrentes. La temporada alta para esta actividad se concentra entre febrero y mayo, seguida por una afluencia media de noviembre a enero y en junio, mientras que los meses de julio a octubre se consideran temporada baja (Erazo et al., 2023).

Los talleres participativos con los guías permitieron identificar 10 sitios de relevancia para la pesca deportiva de liberación, distribuidos tanto dentro del PNAX como en la colindante con la RESMBCH. Estos sitios clave incluyen Cayo Chelem, 7 Mogotes, Punta Gavilán, Portillas, Dedos, La Aguada-Isla Sombrerete, Blanquizal, Río Uach, Canal de Zaragoza y Xahuayxol (Figura 4).

Figura 4. Mapa de las áreas en las que se realiza la pesca deportiva de liberación.



Fuente: Delgadillo, et al 2024 con información de Conanp e INEGI (2025).

La identificación de amenazas o presiones sobre los humedales asociadas a la pesca deportiva de liberación, realizada a través de entrevistas y talleres con los guías, arrojó como resultado la presencia de diversos factores de estrés (Figura 5). Estos incluyen la presencia de redes agalleras (no vinculadas a la pesca deportiva de liberación), la acumulación de sargazo en la zona costera (identificada como la principal amenaza al manglar al impedir el intercambio de agua), la presencia de basura, malas prácticas por parte de algunos guías, la introducción de especies exóticas como el pez león, el dragado del Canal de Zaragoza y la captura con arpón de especies objetivo del Fly fishing. Se destacó que el aumento de la promoción turística en Xcalak podría generar una mayor presión para el desarrollo de infraestructura, lo que implicaría una potencial pérdida de cobertura de manglar y, por ende, la disminución de los importantes servicios ecosistémicos que estos proporcionan (protección costera, provisión de hábitat y alimento, zonas de cría y reclutamiento de especies de valor ecológico y económico) (Erazo et al., 2023).

Figura 5. Taller de validación con los guías que ofertan la actividad de Fly fishing.



Fuente: Archivo Conanp-GIZ (2023).

La aplicación del método de precios de mercado se basó tomando en cuenta los servicios ecosistémicos comercializables (recreación, provisión y protección costera infraestructura), que reveló el valor económico asociado a la pesca deportiva de liberación en comparación con la pesca comercial de langosta. El costo promedio diario para los turistas que realizan Fly fishing se estimó en \$9,660 pesos por habitación doble y \$13,612 pesos por habitación sencilla, considerando una estancia promedio de 5 a 7 días (Figura 6). Los paquetes turísticos suelen incluir transporte local, alimentación, bebidas y la actividad de pesca, sin contemplar propinas, gastos locales ni traslados aéreos. Con una afluencia turística estimada entre 1,000 y 2,000 visitantes anuales para esta actividad, se proyectan ingresos brutos para el sector hotelero entre 5.4 y 7.8 millones de dólares estadounidenses anuales (Erazo et al., 2023).

Figura 6. Actividad de pesca deportiva de liberación.



Fuente: Archivo Conanp-GIZ (2023).

Mientras que la información recopilada a través de las encuestas a los pescadores comerciales locales se concentra en los humedales cercanos a Xcalak y en la zona sureste de la Bahía de Chetumal, a su vez, se obtuvieron datos relevantes sobre sus ingresos y costos operativos, de las especies capturadas, sus precios de venta por kilogramo y los periodos de actividad. Los ingresos de estos pescadores se derivan principalmente de la captura de una variedad de especies, incluyendo langosta, pargo, barracuda, mero, robalo, rubia, chac-chi, macabí, boquinete, jurel, palometa y huachinango. Los precios de venta mostraron variaciones significativas entre especies, siendo la langosta la de mayor valor (\$120.00 - \$750.00 pesos/kg), seguida por el mero (\$125.00 - \$135.00 pesos/kg) y el huachinango (\$150.00 pesos/kg). En cuanto a los volúmenes de captura anuales por pescador, la rubia fue la especie más abundante (960 kg/año), seguida por el chac-chi y la barracuda, considerando un promedio de cuatro días de trabajo por semana. Los costos asociados a su actividad incluyeron el pago de capitán y ayudante, combustible, trámites portuarios y materiales de pesca (cordel, arpones, anzuelos), con un costo total anual que osciló entre un mínimo de \$7,200.00 pesos y un máximo de \$524,800.00 pesos, con un promedio de \$125,383.00 pesos y con ingresos brutos promedios anuales que oscilan entre \$110,902.00 y \$153,353.00 pesos mexicanos (aproximadamente \$6,153 a \$8,508 USD) (Erazo et al., 2023). Esta comparación subraya la mayor rentabilidad económica de la pesca deportiva de liberación (5.4 y 7.8 millones de dólares estadounidenses anuales y su potencial) para beneficiar a un espectro más amplio de la economía local (incluyendo hoteles, guías, transporte y otros servicios turísticos) a diferencia de la pesca comercial, donde el beneficio se concentra principalmente en los pescadores. Cabe mencionar que actualmente, la pesca comercial de langosta es un recurso concesionado por la CONAPESCA a la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Andrés Quintana Roo para realizar su aprovechamiento comercial en el polígono del PNAX y de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro (RBBCH). Sin embargo, por cuestiones logísticas y económicas dicha cooperativa no realiza ningún tipo de aprovechamiento en el PNAX, lo que ha detonado que cerca de 61 personas de la localidad realicen la pesca de langosta sin pertenecer a la cooperativa, el principal arte de pesca que utilizan son el gancho y arpón a través del buceo libre para la captura de langosta, caracol y escama. A su vez, emplean redes agalleras (irregulares) para la captura de escama en diversos puntos a lo largo de la costa de Xcalak y en lagunas interiores (Erazo, et al 2023).

Aunado a esto, el beneficio que genera la actividad de pesca deportiva de liberación es mayor dado que otros sectores obtienen ganancias (hoteles, guías, transporte, etc.) a diferencia de la pesca comercial, cuyos ingresos brutos promedio anuales (\$110,902.00 y \$153,353.00 pesos mexicanos). Otro aspecto importante para considerar es la diferencia en el manejo de los recursos: mientras que las especies capturadas en la pesca comercial no se liberan, lo que implica una extracción continua de biomasa y una mayor presión sobre las poblaciones de peces, la pesca de captura y liberación permite un aprovechamiento económico con un menor impacto directo sobre los recursos, ofreciendo la oportunidad de ser aprovechadas en múltiples ocasiones.

En cuanto al método de valoración contingente aplicado a los turistas que practican Fly fishing en el PNAX, se determinó una disponibilidad a pagar promedio de \$257 USD por visita para apoyar iniciativas de conservación y manejo de los manglares del área protegida. Esta disposición económica individual se traduce en un potencial de contribución voluntaria anual estimada entre \$4.7 y \$9.4 millones de pesos (Erazo et al., 2023), lo que subraya la valoración que los usuarios otorgan a la salud de estos ecosistemas.

El proceso participativo del AVSE 2024 involucró a guías de pesca deportiva, clubes y hoteles, así como a representantes del área estatal colindante (RESMBCH), gracias a este proceso colaborativo, se logró un reconocimiento detallado de los múltiples servicios que los humedales proporcionan a la región y se comprendió mejor la percepción de estos servicios por parte de los guías de Fly fishing. Se reconoció la importancia de los servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales y la clara dependencia de la actividad de pesca deportiva de liberación con la salud de los manglares (Figura 7).

Como resultado de la identificación de malas prácticas por parte de algunos guías, se elaboró participativamente un Manual de Buenas Prácticas para la actividad, que propone regulaciones específicas que podrían tomarse en cuenta durante el proceso de actualización del programa de manejo, así como recomendaciones para la modificación de la zonificación existente en el ANP. Adicionalmente, se generaron insumos fundamentales para la realización del Estudio de Límite de Cambio Aceptable (ELCA) específico para la pesca deportiva de liberación, con el objetivo de establecer un marco para el crecimiento sostenible de la actividad, minimizando los impactos negativos en la calidad del servicio y la presión sobre los recursos naturales, bajo una visión compartida a largo plazo. Para complementar estas acciones, se implementó una campaña de difusión que incluyó la producción de un video dirigido a los turistas y la creación de folletos con información sobre las buenas prácticas identificadas para asegurar un crecimiento sostenible de la actividad sin comprometer la calidad del servicio ni ejercer una presión excesiva sobre los recursos naturales.

Por consiguiente, se proporcionó información actualizada y detallada sobre la actividad de pesca deportiva de liberación en el PNAX, su valor económico, su dependencia de los servicios ecosistémicos de los humedales, las amenazas que enfrenta y el estado de la regularización de los prestadores de servicios. Esta infor-

mación es de gran relevancia para fundamentar la actualización de los instrumentos normativos del PNAX y para implementar estrategias de manejo y conservación más efectivas que garanticen la sostenibilidad de esta importante actividad económica y la protección de los valiosos ecosistemas del parque.

El estudio permitió establecer una clara relación de dependencia entre la sostenibilidad de la actividad de pesca deportiva de liberación y el estado de conservación de los ecosistemas de manglar.

Figura 7. Participación de diversos representantes de grupos locales de Xcalak (Fuente: Archivo CONANP-GIZ, 2023).



Fuente: elaboración propia.

La revisión de los documentos de regulación (Programa de Manejo, Uso Público y ELCA) reveló que el Programa de Manejo del PNAX (2004) reconoce el turismo alternativo en Xcalak (hoteles, restaurantes, artesanías, buceo) como una fuente de ingresos, pero no considera explícitamente a la pesca deportiva de liberación a pesar de estar mencionada. El análisis de las actividades permitidas por zonificación y la información generada en 2024 evidenciaron la necesidad de actualizar esta sección, ya que el Fly fishing se realiza principalmente a lo largo de la línea costera y en lagunas interiores, abarcando cuatro zonas del polígono, mientras que el programa de manejo solo la contempla en la Zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Marinos. Se sugirió considerar la posibilidad de permitir la pesca deportiva sin motor en las Zonas de Uso Restringido donde se permiten recorridos en embarcaciones no motorizadas, aunque esta propuesta no se incluyó en el proceso actual.

La revisión del Programa de Uso Público (2017) confirmó la falta de información detallada sobre la pesca deportiva de liberación (número de prestadores, capturas y liberaciones) debido a la ausencia de autorizaciones previas. Se mencionó que la actividad se concentra más en el RESMBCH y se reiteró la regla 62 sobre el límite de embarcaciones, señalando una subutilización de las autorizaciones disponibles para la Sociedad Cooperativa de Servicios Turísticos Bahía Blanca. Esta situación refuerza la necesidad del ELCA específico para el Fly fishing y la actualización de los instrumentos de gestión.

El proceso participativo fortaleció la relación con los guías de pesca deportiva y la coordinación con el RESMBCH, facilitando la regularización de un mayor número de guías para obtener las autorizaciones de actividades lucrativas de la CONANP para la pesca deportiva de liberación. Las Tablas 1 y 2 ilustran el cambio en el número y tipo de autorizaciones otorgadas entre 2023 y 2024, mostrando un aumento en el total de autorizaciones y la inclusión de la pesca deportiva de liberación como una actividad regularizada, con un mayor número de embarcaciones operando bajo esta modalidad, principalmente a través de permisos individuales. El ELCA de 2017, por otro lado, subestimó significativamente la importancia de la actividad en el PNAX, enfocándose principalmente en el buceo y ubicando la actividad de pesca fuera del polígono del parque, lo que subraya la necesidad de la actualización basada en los resultados del AVSE 2024.

La revisión de los documentos de regulación del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak incluyendo el Programa de Manejo (CONANP-SEMARNAT, 2004), el Programa de Uso Público y el Estudio de Límite de Cambio Aceptable (ELCA), reveló áreas que requieren actualización con base a los resultados obtenidos del AVSE 2024. Específicamente, el Programa de Manejo identifica al turismo alternativo (hoteles, restaurantes, artesanías, buceo) como una fuente principal de ingresos en la localidad de Xcalak. Sin embargo, a pesar de que la pesca deportiva de liberación está mencionada en el programa, no se le reconoce explícitamente como una actividad económica significativa.

Además, el análisis de las actividades permitidas según la zonificación actual del PNAX, contrastado con la información recabada durante el proceso participativo de 2024, evidenció la necesidad de una actualización. La práctica del Fly fishing se lleva a cabo predominantemente a lo largo de la línea costera y en lagunas interiores, abarcando cuatro zonas de la poligonal del parque: la Zona de Uso Público, la Zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Marinos, la Zona de Uso Restringido Punta Xcayal-Ensenada Xahuachol y la Zona de Uso Restringido Lagunas del Río Huache. No obstante, el programa de manejo solo considera esta actividad dentro de la Zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Marinos.

Considerando que en las dos Zonas de Uso Restringido mencionadas se permiten recorridos y/o visitas en embarcaciones no motorizadas, se planteó la posibilidad de permitir la pesca deportiva de liberación en estas áreas bajo la condición de no utilizar el motor de la embarcación, replicando la práctica habitual de los guías que se apoyan en una palanca para evitar perturbar a los peces con el ruido del motor. Si bien esta propuesta no se incluyó formalmente en el proceso actual de revisión, se considera un punto importante para tener presente al momento de actualizar las actividades permitidas en las diferentes zonas del ANP, buscando una gestión que equilibre la conservación con las prácticas de pesca sostenible.

La revisión del Programa de Uso Público (PUP) del PNAX (CONANP-PROMANP-FOR-PNAX, 2017) revela una orientación predominante hacia la actividad de buceo autónomo. En relación con la pesca deportiva de liberación (Fly fishing), el PUP reitera la falta de información detallada sobre los prestadores de servicios, así como sobre las tasas de captura y liberación, situación atribuida a la ausencia de autorizaciones formales para las embarcaciones que realizan esta actividad en el momento de la elaboración del documento. Al mismo tiempo, el PUP señala una mayor concentración de la actividad de Fly fishing en el área de la colindante Reserva Estatal Santuario del Manatí Bahía de Chetumal (RESMBCH).

El PUP también hace referencia a la regla administrativa número 62 del Programa de Manejo, que establece un límite máximo de 40 embarcaciones para la prestación de servicios turísticos en el PNAX: 30 para la Sociedad Cooperativa de Servicios Turísticos (SCST) Bahía Blanca y 10 para particulares. Un dato relevante que se desprende del PUP es que, para el año 2009, la SCST solo contaba con 9 de las 30 autorizaciones asignadas. Esta situación, evidenciada en las Tablas 1 y 2, sugiere una tendencia a la disminución en el número de autorizaciones utilizadas por la cooperativa, lo que implica un desaprovechamiento de la capacidad establecida en el Programa de Manejo. Esta falta de aprovechamiento, sumada a la ausencia de información específica sobre la pesca deportiva de liberación en el PUP, subraya la urgencia de llevar a cabo el Estudio de Límite de Cambio Aceptable (ELCA) específico para esta actividad y de actualizar integralmente los instrumentos de gestión del PNAX.

Tabla 1. Relación de PST con autorización con fines comerciales durante 2023 (Fuente: Archivo, CONANP).

Tipo de persona	Embarcación	Actividad autorizada	Zona
Cooperativado	Alma Rosa Laura Susana Larisa	Buceo libre y recorridos en embarcación motorizada	Zona de Uso Público y zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales Marinos
Privada	Mebi Sea Macabi Tzimin ha Sea Horse	Buceo libre, buceo autónomo y recorridos en embarcación motorizada	
	Caballito de Mar	Recorrido en embarcación motorizada	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Relación de PST con autorización con fines comerciales durante 2024 (Fuente: Archivo, CONANP).

Tipo de persona	Embarcación	Actividad autorizada	Zona
Cooperativo	Gaviota Sharon	Recorrido en embarcación motorizada, buceo libre (esnórquel) y buceo autónomo	Zona de Uso Público y zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales Marinos
	Yirien	Pesca deportiva (de liberación)	Zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales Marinos
Privada	The Silver King Grey Ghost Jessy Grand Slam Larisa	Pesca deportiva (de liberación)	Zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales Marinos
	Fancy Jack Cazador	Pesca deportiva (de liberación) y esnórquel	
	Alma Rosa	Pesca deportiva (de liberación) y recorrido en embarcación motorizada, buceo libre (esnórquel) y buceo autónomo	Zona de Uso Público y zona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales Marinos
	Laura Susana	Recorrido en embarcación motorizada, buceo libre (esnórquel) y buceo autónomo	
	Hiromy	Recorrido en embarcación motorizada y buceo libre (esnórquel)	

Fuente: elaboración propia.

La información proporcionada por la dirección del Área Natural Protegida detalla el número de autorizaciones otorgadas durante los años 2023 y 2024, ilustrando los cambios en la regularización de las actividades turísticas en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX). La Tabla 1 revela que, hasta el año 2023, se habían emitido un total de ocho autorizaciones, distribuidas en actividades como buceo libre, buceo autónomo y recorridos en embarcación motorizada. De estas, tres correspondieron a la Sociedad Cooperativa de Servicios Turísticos Bahía Blanca y cinco a prestadores privados. Un dato significativo es que, hasta ese momento, ningún prestador de servicios dedicado a la pesca deportiva de liberación (Fly fishing) se encontraba formalmente regularizado, y la tendencia indicaba que la mayoría de los interesados optaban por realizar el trámite de manera individual en lugar de a través de la cooperativa.

Sin embargo, como resultado directo de los diversos talleres participativos llevados a cabo durante el AVSE 2024 con los guías que ofrecen la actividad de Fly fishing, se produjo un cambio notable en el panorama de las autorizaciones, tanto en su número como en los tipos de actividades permitidas. La Tabla 2 muestra que, para el año 2024, el número total de autorizaciones otorgadas se incrementó a 13. De estas, tres se mantuvieron para la Sociedad Cooperativa Bahía Blanca, mientras que las autorizaciones a particulares alcanzaron el límite máximo de diez establecido por la regla administrativa número 62 del programa de manejo. Un avance crucial es que la pesca deportiva de liberación se incluyó explícitamente como una de las actividades autorizadas, evidenciándose un mayor número de embarcaciones operando bajo esta modalidad. Este cambio refleja el éxito del proceso participativo en facilitar la regularización de una actividad económica clave para el PNAX.

El Estudio de Límite de Cambio Aceptable (ELCA) realizado en 2017 presenta una perspectiva sobre las actividades turísticas en el PNAX que contrasta significativamente con la realidad actual identificada en el AVSE

2024. Con base al estudio del ELCA de 2017, la principal motivación de los turistas nacionales y extranjeros para visitar el ANP son las actividades subacuáticas, destacando el buceo libre y el buceo autónomo como las más demandadas. Sorprendentemente, en dicho estudio se indica que la pesca deportiva de liberación se realiza en la zona conocida como Canal de Zaragoza, ubicada fuera del polígono del PNAX, y que la localidad de Xcalak se utiliza principalmente como punto de embarque y pernocta para los turistas interesados en esta actividad. Esta visión del ELCA de 2017 se centra casi exclusivamente en las actividades de buceo autónomo y esnórquel, lo que evidenció la necesidad apremiante de realizar un estudio detallado que visibilizara la verdadera magnitud y las características de la actividad de Fly fishing dentro del PNAX. La información desactualizada en los documentos existentes para regular las actividades turísticas en el área omitía datos cruciales sobre una de las principales actividades económicas del parque.

Ante esta discrepancia entre la información oficial previa y la realidad observada, se vuelve imperativo contar con instrumentos normativos actualizados que reflejen el escenario real de las actividades turísticas que se desarrollan en el PNAX. La información recopilada durante el AVSE 2024 proporciona insumos valiosos para enriquecer el programa de manejo, permitiendo la inclusión detallada de la pesca deportiva de liberación en cada uno de sus componentes. Asimismo, se justifica la modificación de la regla administrativa número 62 para facilitar la regularización de los guías que dependen de esta importante actividad económica en el PNAX y a su vez, resalta la importancia de los demás documentos que complementan lo establecido en el Programa de Manejo, como ELCA o PUP.

Conclusiones:

El Análisis de Valoración de Servicios Ecosistémicos (AVSE) de los humedales del PNAX, en concordancia con el Informe de la Evaluación Mundial del IPBES (2019), subraya la intrínseca conexión entre la salud de la naturaleza y el bienestar humano, manifestándose en las contribuciones de la naturaleza a las personas. La pesca deportiva de liberación (Fly fishing) ejemplifica cómo las decisiones que se realizan en coordinación con instituciones y en el marco de diversos sistemas de gobernanza (como las regulaciones de las ANP, consejos asesores, talleres participativos, entre otros), interactúan con los ecosistemas para generar beneficios materiales y no materiales. La participación activa de los usuarios en este tipo de estudio es crucial para ser impulsores indirectos que moldean la relación entre la sociedad y la naturaleza en el PNAX y en general en las Áreas Naturales Protegidas. Sin embargo, esta valiosa actividad y los servicios ecosistémicos subyacentes se encuentran bajo la creciente amenaza de impulsores antropógenos directos derivados de planes de desarrollo turístico poco sostenibles promovidos a nivel local. Proyectos como la construcción de muelles de cruceros, vías de navegación para embarcaciones de carga y centros hoteleros de mediana y alta densidad representan una potencial conversión de hábitat y un aumento en la contaminación y el uso de recursos que podrían degradar el estado de salud de los humedales (manglares, pastos marinos, arrecifes de coral) y la calidad del agua, impactando negativamente las poblaciones de peces de interés para el Fly fishing y la experiencia turística en general. El proceso participativo del AVSE debe extenderse a la discusión y evaluación de los planes de desarrollo turístico, asegurando que las voces de los usuarios de los servicios ecosistémicos y las comunidades locales sean consideradas en la toma de decisiones, fortaleciendo así la gobernanza ambiental ante estos impulsores de cambio.

La información generada por el AVSE es fundamental para actualizar el Programa de Manejo del ANP, un instrumento de gobernanza clave que influye directamente en las actividades turísticas. La necesidad de modificar la regla administrativa del Programa de Manejo sobre las autorizaciones para actividades turísticas son instrumentos que como manejadores de área permiten regular el uso y aprovechamiento de los recursos naturales, debe considerar estas amenazas emergentes, integrando estrategias para mitigar los impactos negativos de proyectos de infraestructura que priorizan un crecimiento turístico intensivo sobre la buena calidad de vida de las poblaciones locales y la salud de los ecosistemas. La actualización busca armonizar las regulaciones con la realidad de la actividad, considerando tanto su potencial económico como la necesidad de mitigar impulsores antropógenos directos como la presión sobre los ecosistemas de manglar. Esta inclusión garantiza una mayor relevancia e impacto de la información generada en la gestión de las Áreas Naturales Protegidas. Asimismo, se recomienda la integración de estos estudios con instrumentos normativos existentes como los Programas de Manejo, los Programas de Uso Público y los Estudios de Límite de Cambio Aceptable, para complementarlos y fortalecerlos. En ausencia de estos instrumentos, los estudios de valoración deben adoptar un enfoque integral que facilite la futura incorporación de sus resultados en la planificación y gestión de las ANP.

La información detallada obtenida durante el AVSE de los humedales del PNAX, que abarca tanto la dimensión económica como la percepción de los actores locales, se presenta como un insumo crucial para la actualización del Programa de Manejo del ANP. Esta actualización permitirá integrar de manera explícita la pesca deportiva de liberación (Fly fishing), reconociendo su significativa contribución económica como un servicio cultural y de provisión (MEA, 2005) y una contribución material y no material (IPBES, 2019). Los resultados del

ELCA específico para esta actividad justifican la modificación de la regla administrativa que limita el número de autorizaciones para prestadores privados, así como de la zonificación, buscando un equilibrio entre el aprovechamiento económico sostenible y la conservación de los servicios de regulación y apoyo que ofrecen los humedales. La regularización de las 27 embarcaciones restantes es fundamental para asegurar un desarrollo ordenado de la actividad y considerar su crecimiento futuro, sin comprometer la integridad de los ecosistemas de manglar ni la calidad de la experiencia de pesca deportiva. La información generada por el AVSE es fundamental para informar la toma de decisiones sobre estos planes de desarrollo, resaltando el valor económico y ecológico de la pesca deportiva de liberación como una alternativa de uso sostenible de la biodiversidad.

La aplicación de diversas metodologías de valoración evidenció la marcada dependencia de la pesca deportiva de liberación con respecto a la salud de los manglares y ecosistemas asociados, así como su mayor rentabilidad en comparación con la pesca comercial. Se recomienda, por lo tanto, fortalecer el impulso de esta actividad como una forma de uso sostenible de la biodiversidad, que genera mayores beneficios económicos para un espectro más amplio de la sociedad y ejerce una menor presión sobre las poblaciones de peces. La comparación de la rentabilidad entre la pesca deportiva de liberación y la pesca comercial ilustra cómo las políticas económicas y las preferencias de los usuarios (también impulsores indirectos) pueden influir en las prácticas de aprovechamiento de los recursos naturales. Promover la pesca deportiva de liberación como una actividad más sostenible representa una estrategia para mitigar los impulsores antropógenos directos asociados a la sobreexplotación pesquera.

La marcada dependencia del Fly fishing de la salud de los manglares y ecosistemas asociados subraya la vulnerabilidad de esta actividad ante impulsores antropógenos directos como la alteración hidrológica y la destrucción del hábitat que podrían acarrear los desarrollos costeros a gran escala. Es crucial que las instituciones y sistemas de gobernanza a nivel local consideren los hallazgos de este AVSE al evaluar la viabilidad y los impactos de proyectos que podrían comprometer la integridad ecológica del PNAX y su capacidad para proveer contribuciones de la naturaleza para la gente.

En la gestión de las contribuciones de la naturaleza a la sociedad, la propuesta de designar especies clave para la pesca deportiva (palometa, macabí, sábalo y róbalo) como exclusivas para captura y liberación dentro del programa de manejo, estableciéndolo como una regla administrativa y considerándolo en otros instrumentos normativos en materia de pesca, resultaría como una medida institucional que busca regular un impulsor antropógeno directo (la pesca extractiva) para asegurar la persistencia de los beneficios no materiales asociados a la actividad recreativa.

La disposición de los turistas a pagar por la conservación de los manglares revela una valoración social de los servicios de regulación y apoyo proporcionados por estos ecosistemas, un factor que puede ser integrado en mecanismos de gobernanza y políticas económicas para financiar la conservación y mitigar los impulsores antropógenos directos de la degradación del hábitat. La disposición de los turistas a contribuir económicamente para la conservación de los manglares representa una oportunidad para establecer mecanismos externos de financiamiento sostenible y transparentes para la gestión del PNAX, en colaboración con las organizaciones de la sociedad civil, reconociendo el valor que la sociedad otorga a la protección de estas importantes contribuciones de la naturaleza.

El proceso participativo del AVSE fortalece la colaboración entre diferentes instituciones (CONANP, RESMBCH, organizaciones de la sociedad civil, guías), lo cual es fundamental para una gestión adaptativa y efectiva de los impulsores que afectan la naturaleza y el bienestar humano en la región. El fortalecimiento de la colaboración con los guías de Fly fishing y con los administradores de la Reserva Estatal Santuario del Manatí Bahía de Chetumal durante este proceso participativo es un avance significativo para la gobernanza efectiva de esta actividad que comparten ambas áreas naturales protegidas. La promoción de la pesca deportiva de liberación como una actividad de uso sostenible contrasta con los modelos de desarrollo turístico intensivo que a menudo requieren un mayor consumo de recursos y generan impactos ambientales significativos. Es esencial que las políticas económicas locales fomenten alternativas de ecoturismo de bajo impacto que preserven el capital natural de la región, del cual depende la buena calidad de vida de las comunidades a largo plazo, y se evalúen cuidadosamente los potenciales impactos de proyectos de desarrollo a gran escala.

Finalmente, para mejorar la gestión basada en el conocimiento científico de las contribuciones de la naturaleza, y con el afán de conocer más sobre los impulsores naturales (patrones de movimiento de las especies) y cómo las actividades humanas (impulsores antropógenos directos) interactúan con ellos, se plantea la realización de un proyecto de marcaje de especies en 2025, en colaboración con diversas instituciones tanto de México como de Belice (El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal, el IBANQROO, CONANP y la organización internacional Bonefish and Tarpon Trust) y los guías locales, con el objetivo de comprender sus patrones de movimiento y fortalecer la ciencia ciudadana en la región, proporcionando información relevante para la toma de decisiones informada y la promoción de una buena calidad de vida que dependa de la salud de los ecosistemas.

Referencias

- Ángeles- Solís, D., I. L. Chávez-Estrada & A.G., Moo-Archi. (2024). 9.3. Áreas Naturales Protegidas en Elementos de Ecología de la Zona Marino Costera del Mar Caribe Mexicano. 269-281 pp.
- CONANP-SEMARNAT., (2004). Programa de Manejo Parque Nacional Arrecifes de Xcalak. Recuperado de: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/37_libro_pm.pdf.
- CONANP- SEMARNAT., (2010). Programa de Uso Público del Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.
- CONANP-PROMANP-FOR-PNAX., (2017). Estudio de Límite de Cambio Aceptable para regular las actividades turístico-recreativas que se desarrollan en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.
- Covarrubias, A. J., Juárez- Mancillas, P., Cruz-Chávez & G., Cruz-Chávez, (2019). Turismo en Áreas Naturales Protegidas de México: caso Baja California Sur.
- Delgadillo, R., F., Serrano-Flores e I., Jurrius. (2024). Estudio del Límite de Cambio Aceptable (ELCA) para el manejo de la pesca deportiva de liberación en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak.
- Erazo, J., F., Serrano-Flores, N., Maffiodo, e I. Jurrius, (2024). Proyecto de Conservación y uso sostenible de biodiversidad marina en el Caribe Mexicano.
- Gandini, P., & A., Millones. (2019). Percepción y valoración de servicios ambientales de las áreas protegidas de Puerto Deseado, Santa Cruz.
- Herrera-Silveira, J.A., C. Teutli-Hernández., M. Merrelo-Peñalver., F.R. Castillo-Infante., O. Pérez Martínez., H.G. Us-Balam., E. Pech-Poot., J. A. Canul-Cabrera., S.A. Ramírez-García., J.E. Mendoza Martínez. (2022). Estudio de Factibilidad y estrategia de restauración ecológica del manglar en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak (PNAX) y su zona de influencia. TFOF/CINVESTAV-IPN/ENES-Mérida/PMC/MMC/CONANP, 136 pp. Mérida, México.
- IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 páginas.
- Mena- Alvarez, J., L., Rubio-Togle, J., Deza-Grados, H., Yagui-Briones, C., Vergel- Rodríguez & L., Kanashiro. (2016). Servicios Ecosistémicos que brindan las Áreas Naturales Protegidas. Documento de Trabajo No. 23
- Palomo, L., & A.U., Perez. (2021). Impacto económico de la pesca en los bajos en Quintana Roo. Bonefish and Tarpon Trust.
- Rodríguez- Mena, L., G., Curetti, G. Garegnani, G., Grilli, F., Pastorella & A., Paletto. (2016). La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: un caso de estudio en Los Alpes Italianos.

CAPÍTULO OCHO

VALORACIÓN ECONÓMICA DEL SERVICIO ECOTURÍSTICO EN EL PARQUE NACIONAL IZTACCÍHUATL-POPOCATÉPETL

Alin Nadyely Torres Díaz¹
Manuel de Jesús González Guillén²
Sheila Zeltzin Trejo Gregor³

Resumen

Los parques nacionales proporcionan beneficios recreativos a visitantes locales, nacionales e internacionales. Sin embargo, existe poca información sobre los gustos y preferencias de las actividades recreativas que en ellos se desarrollan, las características socioeconómicas de los visitantes y los costos y beneficios recreativos de los mismos. Información sobre los gustos y preferencias hacia las actividades recreativas que ofrecen los parques nacionales y su valor monetario es requerido para delinear un manejo sostenible más comprensible. El objetivo de este estudio fue conocer los gustos y preferencias de los visitantes al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl y estimar el costo de viaje incurrido por los turistas al visitarlo. Se encontró que el valor de uso *per cápita* del servicio ecoturístico va de \$201 a \$48,441 con un promedio de \$5,021 el cual se considera elevado. Además, se identificó el perfil de sus visitantes, sus gastos y su excedente del consumidor. Estos resultados muestran el beneficio económico del ecoturismo, en un momento clave para los ecosistemas alpinos resguardados en el parque. La información obtenida es fundamental para el monitoreo futuro y la formulación de políticas y estrategias para el aprovechamiento y conservación del parque.

Palabras clave: Costo de viaje, turismo, áreas recreativas, excedente del consumidor, activos ambientales.

Abstract

National parks provide recreational benefits to local, national, and international visitors. However, there is little information on the tastes and preferences for recreational activities offered in them, the socioeconomic characteristics of visitors, and their recreational costs and benefits. Information on tastes and preferences for recreational activities offered by national parks and their monetary value is needed to outline more comprehensive sustainable management strategies. The objective of this study was to understand the tastes and preferences of visitors to Iztaccíhuatl-Popocatepetl National Park and to estimate the travel costs incurred by tourists when visiting the park. The per capita use value of ecotourism services was found to range from \$201 to \$48,441, with an average of \$5,021, which is considered high. In addition, visitor profiles, expenditures, and consumer surplus were identified. These results demonstrate the economic benefits of ecotourism at a key time for the alpine ecosystems protected in the park. The information obtained is essential for future monitoring and the formulation of policies and strategies for the use and conservation of the park.

Key Words: Travel costs, tourism, recreational areas, consumer surplus, environmental assets.

Introducción

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y las restricciones en el aprovechamiento de la cosecha forestal son instrumentos de política pública ambiental que el gobierno mexicano ha creado para conservar los ecosistemas y su biodiversidad, además de satisfacer los servicios ecosistémicos que la sociedad requiere (Cordero, 2011; Ortega-Rubio *et al.*, 2015), y de equilibrar los impactos ocasionados por el hombre y la naturaleza.

En relación a las primeras, México cuenta actualmente con 232 ANP en una superficie de 98 millones de ha de carácter federal de las cuales, 76% son marinas y 24% terrestres

1 Doctora en Ciencias Forestales, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Correo: alintd.biol@gmail.com
2 Ph. D., Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Correo: manuelg@colpos.mx.
3 Bióloga, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Correo: sheilazeltzin@hotmail.com

(SIMEC, 2024) clasificadas en seis categorías: reservas de la biósfera, parques nacionales, monumentos naturales, áreas de protección de recursos naturales, áreas de protección de flora y fauna, y santuarios (SEGOB, 2024). Respecto a las segundas, el marco legal (e.g., Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente), regula el aprovechamiento de los bosques y excluye aquellas zonas de alta biodiversidad, áreas protegidas, y áreas con vegetación de alta fragilidad.

Sin embargo, a pesar de que las ANP y las restricciones en el aprovechamiento presentan ventajas como su fácil diseño, de monitoreo simple y efectos rápidos en el ambiente, implican costos altos para su mantenimiento y gestión, son homogéneas y poco efectivas. Por tanto, se requiere cambiar de enfoque a otras formas de conservación que no dependan total y permanentemente del presupuesto ni de donaciones externas.

Un enfoque es a través de la aplicación de herramientas de mercado que son estrategias y técnicas que los tomadores de decisión podrían utilizar para interactuar con el mismo y hacer más efectiva y eficiente la contribución al manejo sostenible (Singh y Singh, 2017) y al fortalecimiento de los medios de vida de las comunidades que habitan esos ecosistemas. Lo anterior implica el desarrollo de un proceso de reconocimiento de los diferentes actores (i.e. beneficiarios, dueños, gobierno, otros) de la importancia de los servicios ambientales actuales y potenciales; la identificación y valoración económica de tales servicios; la determinación de los montos y mecanismos de pago y el establecimiento de arreglos institucionales apropiados para implementar e intermediar los fondos. Dentro de ese proceso, la valoración económica puede contribuir sustancialmente para estimar el valor de los ecosistemas como recursos, de los servicios ambientales como activos naturales que de ellos se derivan, de los daños ocasionados por actividades económicas o procesos naturales que ahí acontecen y de la depreciación por el uso de los recursos.

Particularmente, la valoración económica en parques nacionales en México ha sido poco usada para estimar el valor de los servicios ambientales como activos naturales los cuales, como en cualquier empresa, generan riqueza, desarrollo y bienestar social (Sánchez & Bifaretti, 2016; INECC, 2020). No contabilizar adecuadamente los valores ambientales impactaría negativamente al ambiente y a la sociedad al disminuir o deteriorar los activos ambientales de tales parques y, en general, de cualquier ANP o ecosistema (Asafu-Adjaye, 2002).

Sin embargo, tales activos ambientales se pueden valorar a precios de mercado y de no mercado (Tietenberg y Lewis, 1996). La teoría económica ambiental separa el valor de estos activos en valores de uso directo o la utilidad percibida al acudir al espacio (i.e., uso de un área para recreación o esparcimiento); valores de uso indirecto o beneficios del espacio que son aprovechados por las personas (i.e., captación de agua); y valores de no uso o valor de la existencia del parque y a su valor de legado (Oglethorpe y Miliadou, 2000; Reyers *et al.*, 2012; Lele *et al.*, 2013). La suma de estos valores se representa por el Valor Económico Total el cual puede servir como un marco de referencia de la cantidad de dinero público que sería factible de asignar al manejo sostenible del parque nacional o de cualquier ANP (Council, 2005; Norgaard, 2010; Lele *et al.*, 2013).

Para estimar el valor de los activos de un parque se han aplicado métodos directos e indirectos. Los primeros se basan en crear un mercado hipotético y preguntar a las personas sobre sus preferencias y la disposición máxima a pagar que le asignan al espacio (escenario). El método de Valoración Contingente (VC) (Darling, 1973) se ubica en esta categoría. Los métodos indirectos utilizan mercados sustitutos para estudiar las preferencias de las personas, y los dos principales esquemas de valoración indirecta son el modelo de Precios Hedónicos (PH) y el modelo del Costo del Viaje (CV) (Choumert y Salanié, 2008). Mientras el primero estima el impacto que tiene un parque en el valor de las propiedades cercanas (Rosen, 1974), el segundo trata de estimar el valor de los activos del parque relacionándolo con los costos de traslado, el precio de entrada y el valor del tiempo que se invierte visitándolo (Cesario, 1976). Los tres métodos anteriores se han aplicado con mayor frecuencia para estimar el valor de mercado de un parque nacional. Sin embargo, debido a que el presente estudio se relaciona con un caso de estudio donde se aplica el CV, se hará un análisis más profundo de este.

EL MÉTODO DE COSTO DE VIAJE (CV)

Definición

El Costo de Viaje (CV) es un método de valoración económica de bienes y servicios públicos (e.g. no rivales, no exclusivos) que no cuentan con un mercado definido y por ende no existe información sobre los precios y cantidades demandadas. Su objetivo es estimar el valor de uso indirecto del servicio ambiental a través de los costos y beneficios incurridos por los usuarios para tener acceso a ellos. Con ello, se puede determinar el valor económico que la sociedad le asigna al recurso natural ante cambios en el bienestar causados por deterioros o mejoras de su calidad ambiental. La valoración se realiza indirectamente a través de mercados sustitutos y por medio de encuestas aplicadas a los visitantes quienes revelan sus gustos y preferencias a los servicios y sus costos incurridos en tener acceso a ellos. La sumatoria de costos incurridos en el transporte representa el mercado sustituto de los servicios a ser valorados. El método de CV ha sido ampliamente usado para valorar económicamente espacios naturales, espacios recreativos, parques, zonas de interés paisajística y ecoturística, reservas, otros.

Supuestos del Costo de Viaje

Los supuestos del CV son: los visitantes maximizan su utilidad sujeta a restricciones de ingreso y tiempo; no existen lugares naturales sustitutos con características similares; cada viaje de recreación persigue un solo propósito; existe un costo de oportunidad del tiempo dedicado a la recreación; el tiempo de trabajo o de permanencia en el lugar es de libre elección y es el mismo para todos (Freeman, 1993); ante un incremento del costo de viaje o del precio de entrada a un lugar, los visitantes reaccionan de igual forma; y, aunque débil, existe complementariedad entre la calidad ambiental y la demanda por visitas, reflejándose una relación no decreciente entre ambos bienes.

Origen y fundamentación teórica del método de Costo de Viaje

El origen del CV se basó en una solicitud del Servicio de Parques Naturales de los Estados Unidos a diez economistas sugiriéndoles que idearan métodos para poder medir los beneficios económicos de la existencia de los parques y compararlos con los beneficios que se derivarían si tales áreas se utilizaran con otros fines (Del Saz, 1997). Harold Hotelling dio respuesta a tal solicitud en 1947 y da respuesta con una carta donde fundamenta el método del costo de viaje. Posteriormente, Clawson-Knetsch (1966) perfeccionaron la idea original de Hotelling.

A continuación, se realiza la fundamentación teórica del CV con base a Del Saz (1997); Azqueta *et al.* (2007); y Sánchez (2008):

La valoración del parque o sitio de recreación se hace a partir de los costos incurridos por los visitantes al mismo, por tanto, la información a recolectar será la sumatoria de todos los costos en que incurren las personas para visitar tal sitio, incluyendo el costo de oportunidad del tiempo incurrido en la visita el cual tiene un valor. La Ec (1) muestra el tiempo total disponible (T) de un visitante el cual es equivalente al tiempo dedicado a trabajar (h) más el tiempo que el individuo invierte en las actividades recreativas (tx).

$$T = h + tx \quad (1)$$

Por otro lado, el ingreso total del individuo (y) (ec 2) depende de la tasa de salario (w) multiplicada por el tiempo de trabajo, más el ingreso no salarial o fijo del individuo (y_0)

$$y = wh + y_0 \quad (2)$$

Sin embargo, el individuo distribuye su ingreso entre ir al sitio recreativo y comprar los demás bienes de la canasta Hicksiana, por tanto, se da la igualdad siguiente (ec 3):

$$y = cx + pz = wh + y_0 \quad (3)$$

Donde: cx es el ingreso gastado en el viaje, pz es el ingreso gastado en el resto de bienes (bienes de la canasta Hicksiana), pero x y z son las únicas opciones que se tiene para gastar el ingreso. De la ec (1), se substituye en ec (3) para obtener la ec (4):

$$\begin{aligned} y &= cx + pz = w[T - tx] + y_0 \\ y &= cx + pz = wT + y_0 - wtx \end{aligned} \quad (4)$$

Por tanto, el número de viajes a realizar indicará el tiempo gastado en estos, por lo que el complemento del tiempo quedaría disponible para trabajar (ec 5):

$$x[c + wt] + pz = wT + y_0 \quad (5)$$

Es decir, la cantidad de ingreso que recibe el individuo por trabajar, más un ingreso fijo diferente del que recibe por trabajo, será igual al costo incurrido en ir a visitar el sitio, más el costo de oportunidad del tiempo de visita al sitio, junto con el gasto incurrido en la compra del resto de bienes. Entonces, esta sería la restricción presupuestal del ingreso. Por tanto, la función de utilidad quedaría como se muestra en la ec (6):

$$\text{Maximizar } U(x,z) \quad (6)$$

sujeto a:

$$x[c + wt] + pz = wT + y_0$$

La cual se puede resolver con el Lagrangiano (ec 7):

$$L = U(x, z) + \lambda[(wT + y_0) - x(c + wt) - pz] \quad (7)$$

Y las condiciones de primer orden de este problema de maximización son (ecs 8, 9, 10, 11, 12):

$$dU/dx = \lambda(c + wt) \quad (8)$$

$$dU/dz = \lambda p \quad (9)$$

Y la ec (10) muestra la demanda Marshalliana para x , que resulta de las condiciones de primer orden:

$$x = f[(c + wt), (wT + y_0)] \quad (10)$$

Por tanto, el excedente del consumidor va a variar dependiendo la distribución geográfica de los visitantes con respecto al sitio de recreación. Mientras más lejos del sitio de visita, más costos y más posibilidades que surjan sustitutos relevantes. Es decir, a más costo de x , mayores posibilidades de aproximarse a otro sitio sustituto.

VARIANTES DEL MÉTODO

Existen tres variantes del método de CV (Azqueta *et al.*, 2007):

Costo de viaje zonal. Trata de estimar la propensión media a visitar del lugar donde se ubica el parque desde distintas zonas en las que se divide su área de influencia. Lo anterior, a través de un tamaño de muestra para cada zona para determinar de dónde provienen las personas a quienes se les diseña y aplica una encuesta para determinar los costos involucrados y las características de las mismas.

Coste de viaje individual. Estima la demanda de los servicios recreacionales a través de encuestas diseñadas y aplicadas a los visitantes del parque para conocer el desplazamiento incurrido, sus costos de traslado, el número de visitas al año, otros, además de sus características socioeconómicas.

Modelo de elección discreta. Tratan de estimar la demanda individual de los servicios del parque basado en sus características diferenciales incluyendo los espacios sustitutos del mismo. Estima las tasas de participación individual o en grupo (familia) para realizar actividades recreativas relacionadas con la naturaleza. Además, se incluyen los requerimientos de información sobre el costo de acceso al lugar con relación al viaje (gastos de gasolina por km, mantenimiento del medio de transporte o bien, costos de transporte, de estacionamiento, de entrada al parque, hospedaje, entre otros).

Cada uno de estas variantes presentan ventajas y desventajas, y la mejor opción dependerá de la precisión y exactitud del estudio, de las características y acceso a la información disponible, y de las habilidades del investigador. Sin embargo, debido a que los datos se obtienen directamente de los turistas a través de encuestas, el enfoque individual brinda estimaciones más reales y cuenta con mayor soporte estadístico que el enfoque zonal (Cañez-Cota *et al.*, 2023).

Objetivos del estudio

Este estudio se realizó en el Parque Nacional Iztaccíhuatl- Popocatepetl el cual cumple una gran diversidad de funciones medioambientales, sociales y económicas. Además de los servicios ecosistémicos que el parque produce, oferta áreas recreativas y de esparcimiento, las cuales en conjunto con la estética de su vegetación y las distintas amenidades, proporciona un abanico de posibilidades para el disfrute y deleite de los turistas que lo visitan. Sin embargo, el Parque Nacional Izta-Popo, al igual que la mayoría de las ANP, son de acceso abierto lo que significa que tales visitantes no dimensionan el verdadero valor recreacional que este representa en su justa dimensión. Estimar tal valor permitirá a los tomadores de decisión aplicar políticas públicas que mejor convengan para su uso y conservación en beneficio de la sociedad.

Los objetivos de este estudio fueron caracterizar socioeconómicamente a los turistas que visitan el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, así como determinar las actividades que ellos realizan y estimar el valor de los activos ambientales del parque a través del costo de viaje incurridos en la visita.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP) el cual se localiza en el eje Neovolcánico en la parte central de México. Fue declarado desde 1933 como Zona Protectora Forestal, y en 1935 como Parque Nacional (SEMARNAT y CONANP, 2013), cuenta con una superficie de 39,819.1 ha, dividida entre el Estado de México, Puebla y Morelos (Figura 1). Se encuentra en la región fisiográfica del Eje Volcánico Transversal, en un intervalo altitudinal que va de los 3,000 a los 5,480 m, el tipo de suelo predominante es el andosol, cuyo material parental son rocas ígneas extrusivas, cenizas volcánicas y sedimentos de origen volcánico. Los climas presentes van de templado húmedo, templado subhúmedo, a frío y muy frío (SEMARNAT y CONANP, 2013).

Figura 1. Localización del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.



Fuente: elaboración propia.

El parque representa una importante reserva forestal e hidrológica. Resguarda un remanente importante de bosques de coníferas del género *Pinus* y *Abies*, así como de pastizales alpinos y subalpinos, con especies de flora y fauna endémicas y bajo algún estatus de riesgo de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010. Su elevada precipitación y presencia de glaciares abastecen los escurrimientos que alimentan varias subcuencas desde el centro de México hasta sus desembocaduras, como la Chalco-Textcoco, y los ríos Atoyac, Nexapa, Cuautla y Yautepec, tributarios del Balsas (SEMARNAT y CONANP, 2013). Sin embargo, la reactivación eruptiva del Popocatepetl ocasionó la extinción de sus glaciares en el 2001; y el calentamiento global ha provocado la pérdida de buena parte del área glacial en el Iztaccíhuatl, de los 11 glaciares contabilizados en 1958, quedan solo dos con riesgo de desaparecer en los siguientes años (ONU, 2021).

Si bien no hay poblaciones asentadas dentro de los límites del parque, la superficie forestal y algunos de sus recursos se han visto mermados por actividades ilícitas o no reguladas, como la extracción de hongos, la caza del venado cola blanca, la tala en la zona de influencia, incendios forestales provocados, fauna feral y turismo desordenado. Adicionalmente, el parque enfrenta diversos litigios por la tenencia de la tierra, ya que algunos ejidos y comunidades cuentan con títulos de propiedad de la época de la colonia, utilizados para la obtención de permisos de aprovechamiento maderable o introducción de ganado criollo (SEMARNAT y CONANP, 2013).

Estimación del valor de uso

(a) Diseño, construcción, validación y aplicación de encuestas

Para estimar el valor de uso ecoturístico del parque, se diseñó, construyó y aplicó una encuesta semiestructurada a 154 turistas en el campamento “La Joya”. Estas se distribuyeron en tres temporadas vacacionales (primavera, verano e invierno) durante los meses de abril, agosto, septiembre del 2023 y en febrero del 2024. Se consideró una persona por familia o grupo de turistas que proviniesen del mismo lugar, que fueran mayores de edad y que conocieran los gastos erogados durante el viaje. La encuesta estuvo conformada por:

1. Caracterización socioeconómica: se preguntaron datos como la edad, sexo, estado civil, número de hijos, lugar de donde proviene (país y estado), nacionalidad, nivel máximo de estudios e ingreso mensual aproximado.
2. Variables para estimar el valor de uso:
 - a. Gastos realizados para visitar el PNIP, considerando transporte, comida, hospedaje, renta o compra de equipo, pago de entrada al parque o contratación de algún paquete “todo incluido”.
 - b. Número de días de visita al parque y número de días que visitarán otras áreas de la región.
 - c. Actividades recreativas a realizar en el parque.
 - d. Número de visitas al parque por año.

(b) Base de datos y construcción del modelo de Costo de Viaje (CV)

Una vez aplicada la encuesta, se construyó una base de datos en Excel® para su posterior análisis. Se realizaron tablas de contingencia y pruebas de χ^2 para ver las relaciones entre las variables socioeconómicas y de preferencia de los encuestados. Para estimar el CV, los resultados del gasto se estandarizaron por día y por persona, cuando la persona visitaba otras áreas de la región, se dividieron los gastos de transporte y alojamiento entre el número de días totales de su estancia y se multiplicó por el número de días en el parque. Finalmente, se sumaron los apartados previamente descritos.

Para determinar si había diferencias significativas entre las temporadas (primavera, verano e invierno) se realizó un ANOVA robusto por medio de la paquetería WRS2 de RStudio de un factor (Mair y Wilcox, 2020).

Se aplicó el método de costo de viaje individual, con el cual se estimó la demanda mediante una regresión Binomial Negativa (versión del modelo Poisson que evita la sobredispersión) con el número de visitas que cada entrevistado realiza al sitio, el costo de viaje y otros predictores (Ec. 11) (Hellerstein, 1991):

$$\text{Número de Visitas} = \beta_0 + \beta_1(\text{Costo de Viaje}) + \beta_2(\text{Ingreso}) + \beta_3(\text{Edad}) + \beta_4(\text{Sexo}) + \beta_5(\text{Actividad realizada}) + \varepsilon \quad (11)$$

Finalmente, se calculó el excedente del consumidor de cada entrevistado (EC_i) mediante la Ec. (12):

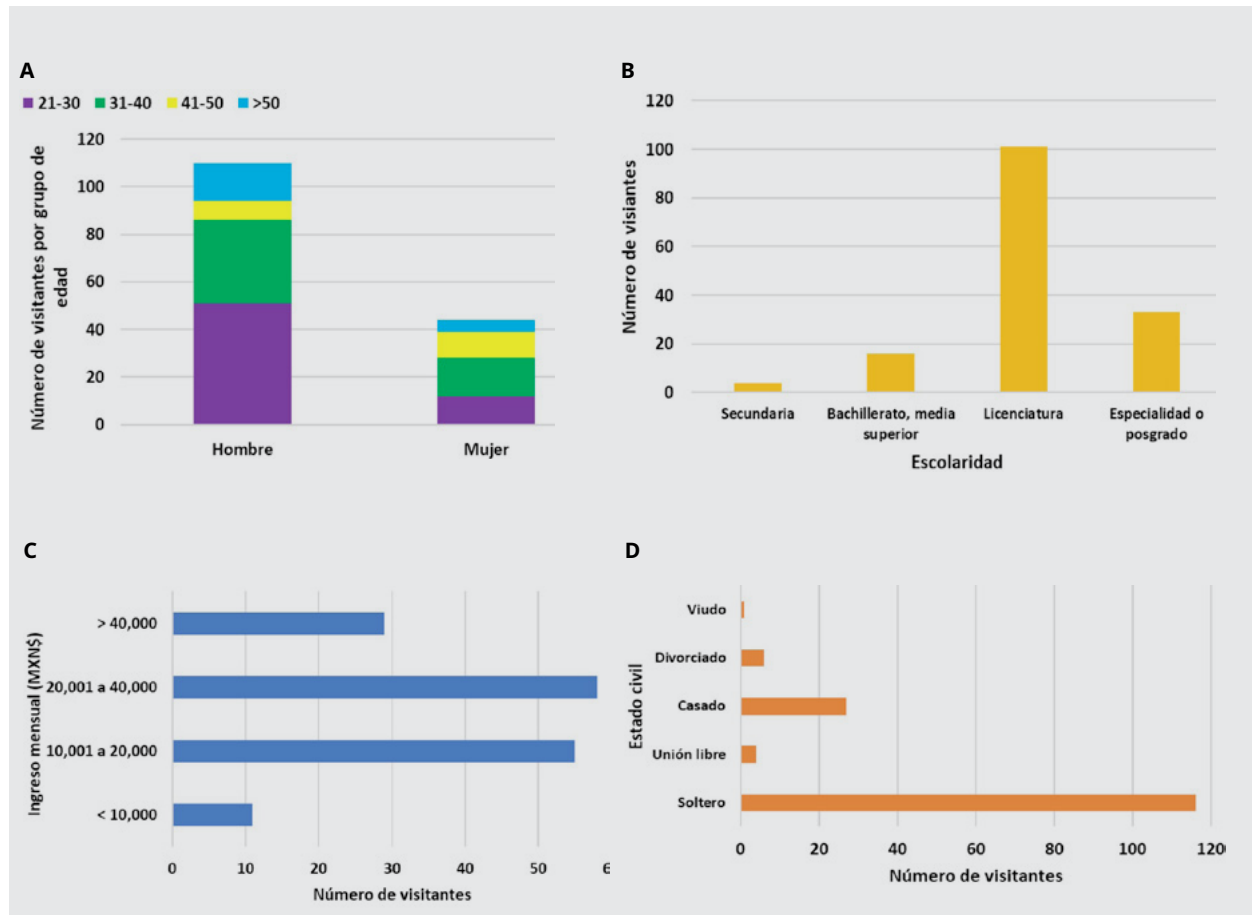
$$EC_i = \text{Número de visitas} / (-\beta_1) \quad (12)$$

RESULTADOS

Caracterización socioeconómica

La mayoría de los visitantes del PNIP proviene de México, particularmente de la Ciudad de México, Estado de México y Puebla; sin embargo, se registraron unos cuantos extranjeros provenientes de Europa (5%) y EUA (4%). Los principales visitantes son personas jóvenes, entre 21 y 40 años (74%), solteros (75%), hombres (71%), sin hijos (66%), con licenciatura (66%) o posgrado (21%). La mayor parte de los encuestados percibe de 20,001 a MX\$40,000 (38%) y de 10,001 a MX\$20,000 (36%) (Figura 2).

Figura 2. Características socioeconómicas de los visitantes del parque: A) Sexo y grupos de edad, B) Escolaridad, C) Ingreso mensual, y D) Estado civil.



Fuente: elaboración propia.

Algunas de las características de los visitantes son semejantes a lo registrado para el Nevado de Toluca (Osorio-García *et al.*, 2011), como una mayoría de adultos jóvenes y del sexo masculino. Este perfil probablemente se debe a que, en ambos sitios las actividades principales, como el ascenso al cráter del volcán en el Nevado de Toluca y a la cumbre en el PNIP, demandan un esfuerzo físico importante. Sin embargo, el ingreso mensual promedio de los turistas en el Nevado de Toluca se concentra por debajo los MXN\$10,000, muy por debajo de lo encontrado para el PNIP.

En cuanto a las motivaciones de la visita al PNIP, el 63% de los visitantes realizaron el acenso a la montaña, 24% de ellos fueron con fines de paseo o convivencia y el resto tenían otros objetivos como trabajo (investigación) o entrenamiento (5% cada actividad) y senderismo en las partes bajas del volcán como única actividad (3%). En este sentido, el público también difiere con los visitantes del Nevado de Toluca, donde hay una mayor proporción de turistas cuyo fin es la convivencia y el descanso (Osorio-García *et al.*, 2011).

Es probable que, en la actualidad, el perfil de los visitantes del Nevado de Toluca tenga menor similitud que aquellos del PNIP, si bien el cambio climático ha afectado a ambas montañas y las condiciones de ascenso se

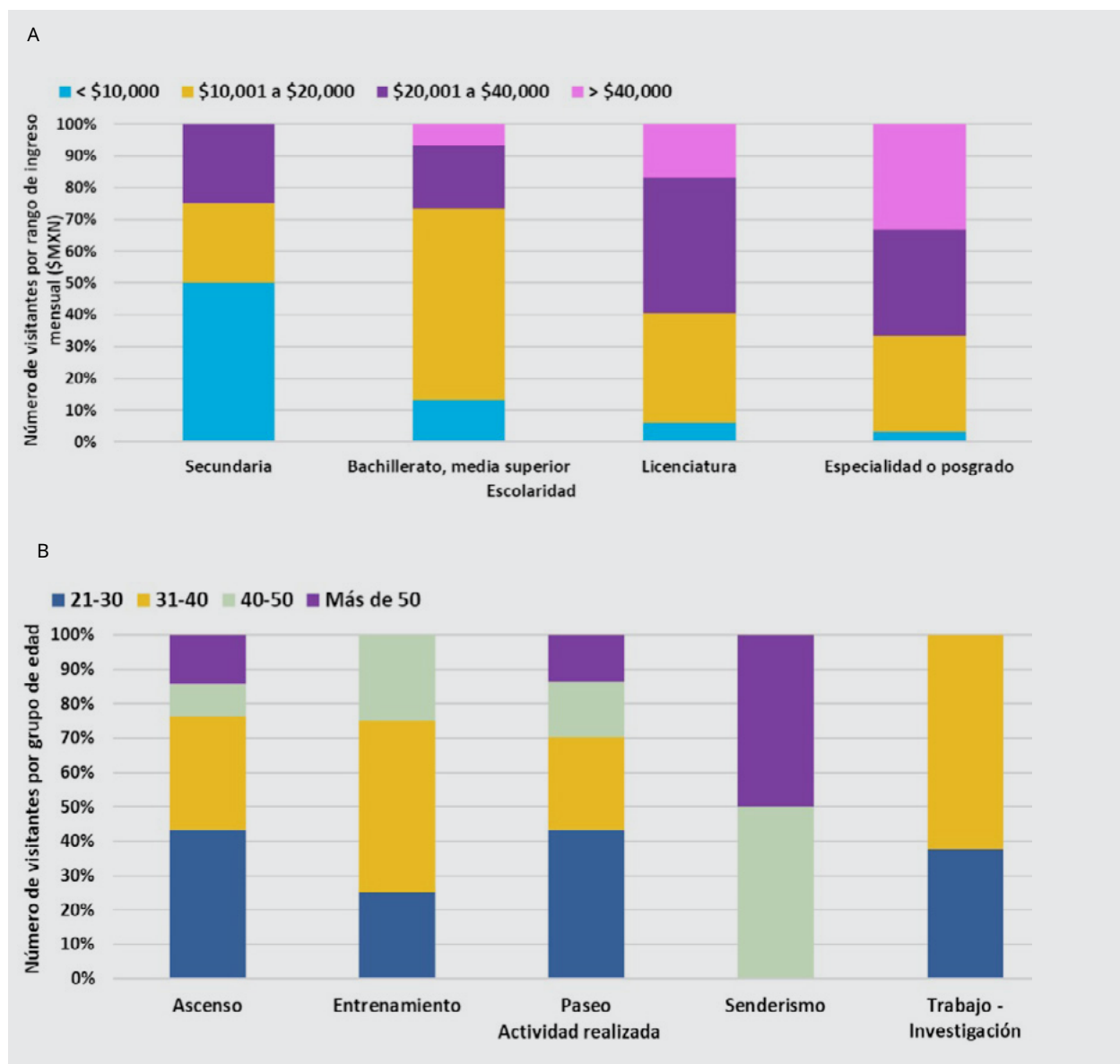
han vuelto más sencillas, los ejidatarios en el Nevado de Toluca ofertan viajes en camionetas públicas del estacionamiento principal a la base del cráter, lo que facilita bastante el arribo de personas.

El análisis de contingencia entre las variables socioeconómicas y preferencias de los visitantes demostró que no hay dependencia entre la mayoría de ellas, por ejemplo, el sexo o el ingreso de las personas no afectan las actividades realizadas o el número de días que se quedan en el parque.

Sin embargo, se ha registrado que hay una correlación entre el nivel educativo e ingreso (Barceinas, 1999), situación corroborada en este estudio, al encontrar una relación altamente significativa ($p=0.006$) entre estas características de los visitantes del parque, por ejemplo, la mayor parte de los encuestados con ingresos mensuales menores tienen la secundaria terminada, mientras que aquellos con los mayores ingresos corresponden a personas con licenciatura, especialidad o posgrado (Figura 3A).

También se observó que las actividades realizadas en el parque dependen en parte de la edad de los visitantes ($p=0.053$), las personas mayores (i.e. por arriba de los 40 años) prefieren realizar senderismo y muy pocas van al parque con el objetivo de realizar el ascenso a la cumbre o de entrenar. Por el contrario, la mayoría de los que realizan el ascenso son menores de 40 años y solo este grupo de edad manifestó que su visita es para realizar algún tipo de trabajo o investigación (Figura 3B).

Figura 3. Relación entre variables socioeconómicas y preferencias de los visitantes: A) Ingreso y escolaridad, B) Rangos de edad y actividades realizadas dentro del parque.

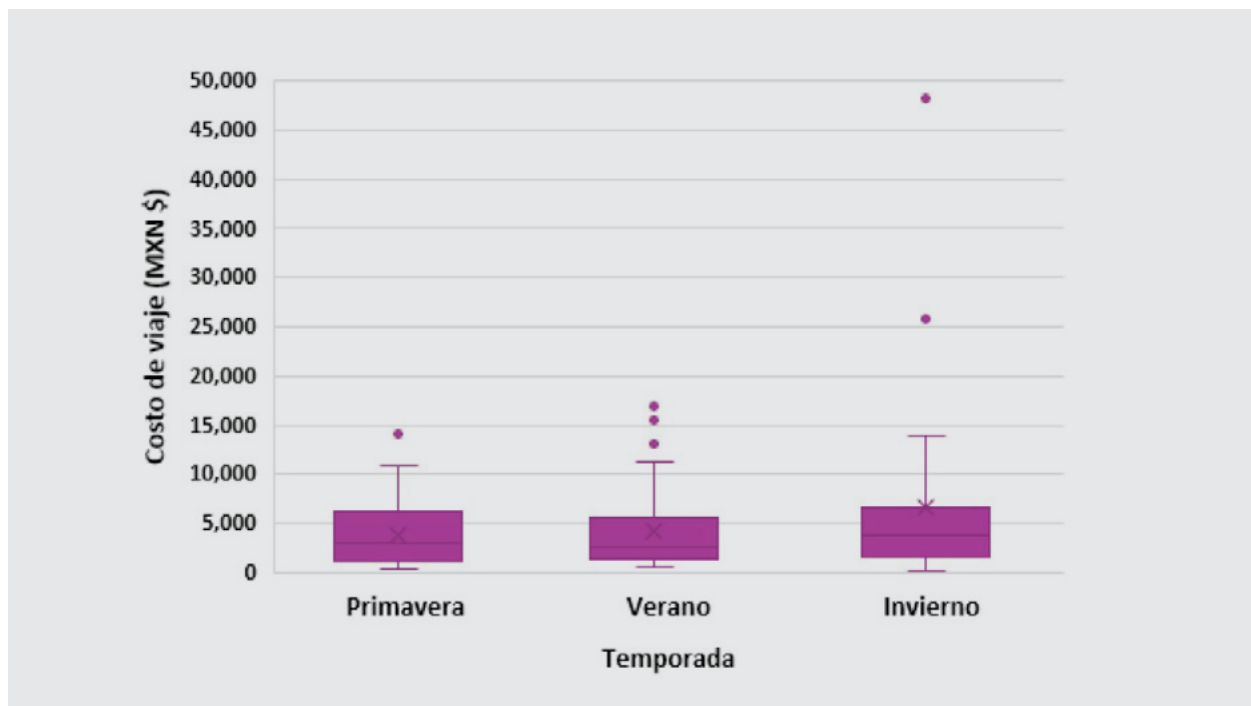


Fuente: elaboración propia.

Valor de uso

Se encontró que no existe diferencia significativa del costo de viaje entre las temporadas ($p=0.72958$), la extinción de los glaciares y la homogeneidad en las condiciones ambientales a lo largo del año han ocasionado que muchas actividades que se solían hacer, tales como escalada en hielo, ciertos entrenamientos o senderismo en nieve ya no se lleven a cabo (SEMARNAT y CONANP, 2013; Gobierno de México, 2014; Campo base C4, 2023). Adicionalmente, durante la temporada del muestreo se observó que, cuando las condiciones climáticas provocaban caída de nieve, el parque permanecía cerrado. Esto provoca que los visitantes no requieran de equipo especializado en ninguna temporada del año (Figura 4).

Figura 4. Costo de viaje de los turistas del parque en las diferentes temporadas.



Fuente: elaboración propia.

El costo de viaje promedio es de MX\$5,021, con un mínimo de MX\$201 y un máximo de MX\$48,441. La media de visitas por año es de 2.8 veces, con un mínimo de una y un máximo de siete visitas. La estancia en el parque es de uno a cuatro días, con un promedio de 1.76 (Tabla 1).

A pesar de que varias actividades relacionadas con el hielo y la nieve ya no se llevan a cabo, se registró que la compra o renta de equipo es el gasto más elevado que los visitantes del parque realizan (promedio de MX\$3,977), ya que se requiere de calzado especial, ropa para condiciones frías y se recomienda el uso de bastones y casco; de las personas que hicieron ese gasto, el 45% lo compró y el 20% lo rentó.

Todos los visitantes designaron algún porcentaje de su presupuesto al transporte (promedio MX\$1,019), siendo el segundo rubro más costoso. Esto, probablemente se deba a que no hay transporte público para llegar a las oficinas de la CONANP y mucho menos para arribar a la zona de campamentos, por lo que la gente requiere ir en autos propios, compartidos o bien rentados. Además, algunas de las personas que no viven en la región (CDMX, Estado de México y Puebla) utilizan transporte aéreo, haciendo que este gasto sea más elevado.

El 91% de los visitantes gastaron en comida un promedio de MX\$598. Este rubro es el más económico debido a las restricciones dentro del parque. En el área natural no existe alguna “zona de restaurantes” por lo que la venta de alimentos es escasa, por tanto, los turistas suelen traer su propio alimento o comprar comida en los puestos cercanos a las oficinas de la CONANP, en el paso de Cortés, o en el local del campamento “La Joyita” donde venden quesadillas, atole, pan y electrolitos, en un horario corto de 10 a 18 h.

Solo el 10.3% de los encuestados pagaron alojamiento (promedio de MX\$1,194.62) esto se debe a que la mayoría de los visitantes suelen residir en la región, por lo que no requieren de este servicio y, en caso de quedarse a acampar, solamente se paga la cuota de entrada por los días de su estadía.

Tabla 1. Costo de viaje de los visitantes del parque, alojamiento, comida, transporte, paquete “todo incluido” y equipo.

	Personas que realizaron el gasto (%)	Mínimo (\$)	Máximo (\$)	Promedio (\$)
Alojamiento	10.3	3.87	6,853.20	1,194.62
Comida	91.0	200.00	2,000.00	597.87
Transporte	100.0	6.00	7,000.00	1,019.10
Paquete	32.5	500.00	6,200.00	3,582.77
Equipo	60.4	10.71	40,000.00	3,977.09
Entrada al parque	67.5	58.00	232.00	98.66
Costo de viaje total	-	201.00	48,441.00	5,021

Fuente: elaboración propia.

El 32.5% del total de personas entrevistadas especificaron haber pagado un paquete “todo incluido”, por día los precios van de MX\$500 hasta MX\$6,200, con un promedio de MX\$3,583. Estos servicios son solicitados ya que resuelven la falta de transporte y comida e incluyen el acceso al parque, así como guías que asisten a los visitantes para subir la montaña. En general y de acuerdo con la consulta en páginas de excursiones disponibles en Internet, los costos de este rubro son más elevados que los registrados para otros parques nacionales e internacionales, es más barato que la excursión al Parque Nacional Yellowstone en E.U.A. y similar al Glaciar Perito Moreno en Argentina (Tabla 2).

Tabla 2. Costos de paquetes “todo incluido” en Áreas Naturales Protegidas (costos obtenidos en 2024 en las páginas GetYourGuide y Viator).

Paquetes en México	Costo por día (\$MXN)
Cumbre Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl	4,525
Cumbre Pico de Orizaba	3,805
Cumbre Nevado de Toluca	2,548
Tour Cerro de la Silla	1,299
Tour Nevado de Colima	957
Paquetes en otros países	Costo por día (\$MXN)
Tour Parque Nacional Yellowstone (E.U.A.)	5,033
Tour Glaciar Perito Moreno (Argentina)	4,301
Tour Machu Picchu (Perú)	2,500
Tour Torres de Paine (Chile)	1,600
Caminata Monte Everest (Himalaya)	1,584
Excursión Riviera Col du Pilon y Glaciar 3000 (Suiza)	1,500
Tour Parque Nacional Tierra del Fuego (Argentina)	1,480
Tour montaña de 7 colores (Perú)	1,000

Fuente: elaboración propia.

Estimación del Excedente del Consumidor

En el ajuste del modelo Binomial Negativo se observó que la edad y la actividad realizada no eran variables significativas (Tabla 3A), por tanto, fueron eliminadas del ajuste y se logró un Criterio de Información de Akaike menor (Tabla 3B). De acuerdo con los resultados, se observó que un mayor ingreso de los visitantes, no propicia más visitas al parque, los hombres tienden a visitar más veces el área natural que las mujeres, al igual que aquellos visitantes de más edad. Entre las actividades que realizan las personas que visitan con mayor frecuencia el parque son el ascenso a la cumbre y senderismo, mientras que actividades como investigación o paseo disminuyen la cantidad de visitas al año.

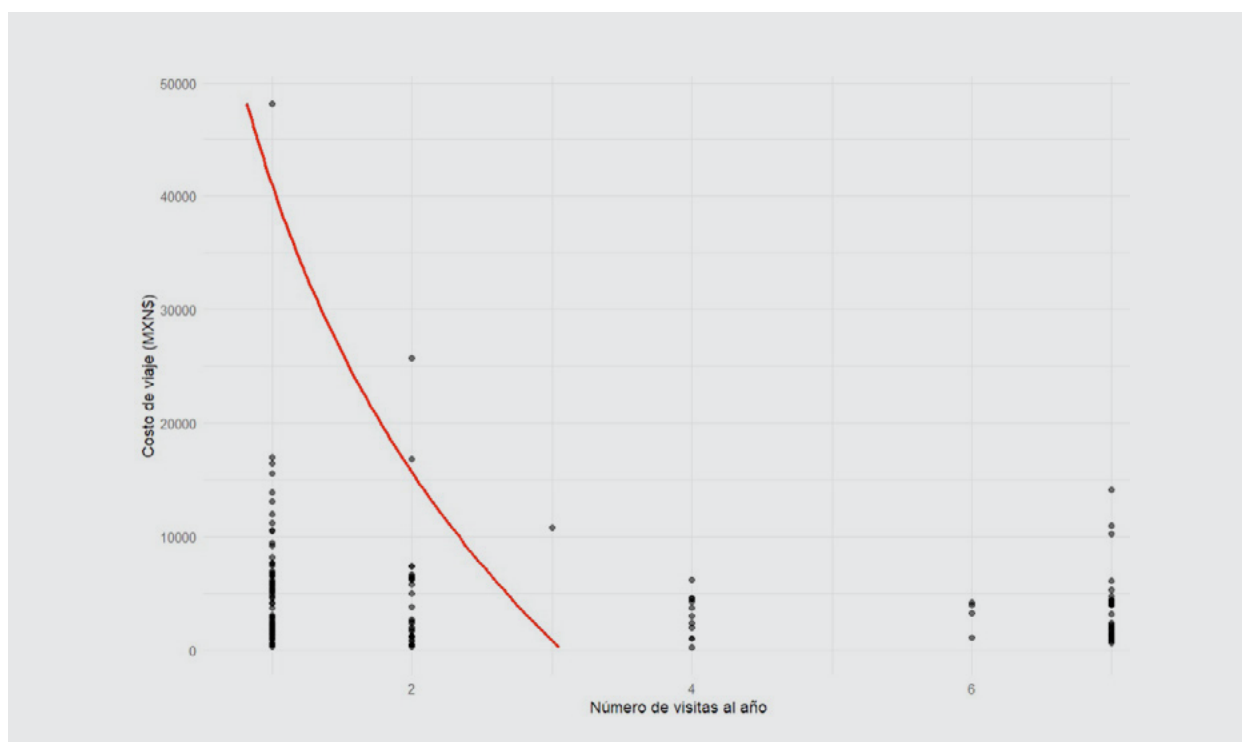
Tabla 3. Valores resultantes del modelo Binomial Negativo ajustado con todas las variables y con aquellas significativas.

	A		B	
Variable	Coeficiente	Valor de P	Coeficiente	Valor de P
Intercepto	1.086	7.44 e-05	1.152	3.42 e-14
Costo de viaje	-2.559 e-05	0.08305	-2.736 e-05	0.05877
Ingreso	-5.792 e-06	0.00845	-5.618 e-06	0.00891
Género	2.506 e-01	0.09095	2.447 e-01	0.09793
Edad	2.275 e-03	0.70865		
Actividad	-2.008 e-02	0.65856		
AIC	638.29		634.63	

Fuente: elaboración propia.

El excedente del consumidor anual promedio por persona es de MX\$102,062.88, sin embargo, considerando un promedio de 2.8 visitas al año, el excedente del consumidor por visita y por persona se estimó en MX\$36,451.00 (Figura 5).

Figura 5. Ajuste del modelo entre costo de viaje y número de visitas al año



Fuente: elaboración propia.

Este valor es elevado en comparación con diversas áreas naturales de México y del mundo, incluyendo tanto sitios montañosos como de playa. Pocos destinos presentan valores superiores, por ejemplo, Los Cabos. No obstante, si se considera que en dicho la duración promedio de la visita es de 8.4 días, frente a 1.8 días en la zona de estudio, el excedente del consumidor por día es de MXN\$11,764 en Los Cabos y de MXN\$20,250 en el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, siendo este último el más alto (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación del excedente del consumidor (persona/visita) entre los visitantes del parque y otras áreas naturales (Se consideró un valor de MXN\$20.00 por dólar americano).

Lugar	Excedente del consumidor por visita	Autor
Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo, BCS, México	160 – 5,760	Hernández-Trejo <i>et al</i> , 2012 ^a
Desierto de los Leones, CDMX, México	236 - 666	Martínez-Cruz y Sainz-Santamaría, 2017
Parques Nacionales Puyehue y Vicente Pérez Rosales, Chile	3,520	Nahuelhual- Muñoz y Nuñez-Parrado, 2010
Parque Nacional Los Nevados, Colombia	3,662	Casallas, 2006
Reserva natural de la Isla Marina Lundy, UK	5,400 – 7,840	Chae <i>et al.</i> , 1012
Lago e Isla McKenzie, Australia	5,080 – 35,600	Fleming y Cook, 2008
Parque Nacional Iztaccíhuatl - Popocatepetl	36,451	Este estudio
Parque Nacional, Portugal	38,420 – 89,500	Mendes y Proenca, 2011
Los Cabos	98,820	Morales-Zarate <i>et al.</i> , 2019

Fuente: elaboración propia.

El turismo de naturaleza tiene un valor económico elevado para sus visitantes, Nahuelhual- Muñoz y Nuñez-Parrado (2010) reportan que las actividades relacionadas con el bosque, en comparación con aquellas vinculadas al agua, presentan un valor aún mayor.

El PNIP ofrece actividades tanto de bosque como de alta montaña. Para participar en ambas, pero especialmente en las de alta montaña, se requiere que los visitantes cuenten con un perfil particular. Muchos de ellos utilizan el sitio para entrenar e incluso, buscan condiciones de nieve y/o hielo para realizar estas actividades, lo que mantiene un valor de uso elevado del parque.

Por ello, se recomienda que, cuando las condiciones climáticas favorezcan la presencia de estos ambientes, el parque no restrinja el acceso a personas que demuestren tener los conocimientos, habilidades y equipo necesario para realizar las actividades propias de la alta montaña. Históricamente, el PNIP fue reconocido a nivel internacional como uno de los principales sitios de América para entrenamientos y pruebas de alto rendimiento en montañismo, debido a su dificultad técnica. Incluso, en el año 1987, alpinistas mexicanos rompieron un récord de permanencia, precisamente en la cumbre del Iztaccíhuatl (Campo base C4, 2023).

Los resultados obtenidos demuestran un valor elevado del servicio ecoturístico del PNIP, lo que constituye un fundamento sólido para priorizar esta Área Natural Protegida y dotarla de recursos que permitan alcanzar los objetivos establecidos en su Programa de Manejo (SEMARNAT y CONANP, 2013), particularmente aquellos relacionados con los visitantes:

- “Favorecer el desarrollo de las acciones de recreación y turismo, por la belleza natural y escénica de estas montañas y la de su flora y fauna, al constituir un atractivo poderosísimo para las y los pobladores locales, como una actividad alternativa”
- “Fomentar una cultura de la conservación en las y los usuarios y prestadores de servicios del parque, mediante actividades de difusión, sensibilización y educación”
- Entre las acciones que tienen un impacto directo sobre el turismo, se pueden considerar:
 - Difusión sobre las condiciones de la alta montaña y los requerimientos de salud, condición física, ropa y equipo requerido para visitar el PNIP
 - Programas de educación ambiental dirigidos a los visitantes, que resalten la importancia de su flora, fauna y principales servicios ambientales que provee, tales como los hidrológicos, de captura de carbono y mitigación del cambio climático.
 - Señalización, delimitación y mantenimiento de senderos, promoviendo su uso

adecuado para evitar la apertura de nuevos caminos o el ensanchamiento de los existentes, previniendo así la erosión del suelo y pérdida de la vegetación, especialmente en la zona de pastizales.

- Mantenimiento y señalización de los caminos vehiculares. Si bien, actualmente se les da mantenimiento, hace falta señalización adecuada con mapas, rutas hacia el campamento principal y límites de velocidad.
- Evaluación de prestadores de servicios turísticos, quienes además de comprobar capacitación técnica para el ascenso de grupos, deberían incluir en sus recorridos componentes de educación ambiental. Como parte de los resultados en este estudio, se encontró que uno de los principales gastos de los visitantes son los “paquetes todo incluido”, por lo que se podría regularizar la aportación que estos prestadores realizan al parque, ya que actualmente, muchos de ellos colaboran en labores de mantenimiento y limpieza del refugio, senderos y zonas de campamento.
- Establecimiento de baños en la zona de campamento principal (La Joya), ya que la vegetación de los alrededores suele ocuparse de sanitario, sin una adecuada gestión de los desechos.
- Capacitación del personal de la CONANP que atiende a los visitantes y prestadores de servicios turísticos, con el fin de concientizar sobre la importancia histórica, biológica y social del PNIP, así como la relevancia del turismo para el parque.

La valoración económica permite evaluar la relación costo-beneficio del turismo en esa área natural, con ello es posible realizar un análisis robusto para establecer un límite de visitantes que no genere sobrecarga al sistema y, al mismo tiempo, aseguren el beneficio de su valor de uso (Fleming y Cook, 2008).

Adicionalmente, es importante establecer reglas claras que regulen las actividades y comportamientos de los turistas. La ausencia de actividades de educación ambiental, así como facilitar el ascenso de las personas a la montaña, como ocurre en el Nevado de Toluca, pueden propiciar el aumento de un turismo “masivo y depredador”, enfocado únicamente en satisfacer sus propósitos de recreación (Osorio-García *et al.*, 2011). Este tipo de turismo generalmente demanda acceso fácil, buena oferta de alimentos, actividades recreativas (no necesariamente ecoturísticas) e infraestructura garantice comodidad, lo cual afecta gravemente el servicio ecoturístico de las áreas naturales.

Conclusiones

El Parque Nacional Izta-Popo (PNIP) presenta un valor de uso del servicio ecoturístico elevado. El perfil de sus visitantes es particular, ya que las principales actividades que realizan exigen como mínimo una buena condición física y de salud, así como ropa especial y equipo técnico, tanto personal como colectivo, que suele ser costoso.

El gasto que los turistas realizan durante su visita beneficia directamente a las comunidades locales (quienes ofrecen principalmente el servicio de comida), a prestadores de servicios turísticos, y a los gobiernos locales y federal. Sin embargo, estos ingresos dependen de la sostenibilidad de la calidad de los servicios ecoturísticos que ofrece el PNIP. En la actualidad estos servicios son altamente vulnerables principalmente al cambio climático, que está ocasionado la desaparición de los paisajes nevados y de hielo, atractivos esenciales de esta área natural protegida que también limitan la entrada de turismo masivo.

Existen acciones concretas que pueden implementarse para propiciar la conservación de los servicios ecoturísticos y, con ello, el valor de uso que estos representan para los visitantes. Entre ellas destacan: establecer reglas para regular las actividades y el comportamiento de los turistas, vigilar su cumplimiento, medir y respetar la capacidad de carga de senderos y zonas de campamento, fomentar la educación ambiental, mantener y señalar caminos y senderos, entre otras.

La estimación del valor de uso del servicio ecoturístico del PNIP mediante el método de costo de viaje, permitió identificar el perfil de sus visitantes, sus gastos y su excedente del consumidor. Aunque no se dispone de información similar de décadas anteriores, particularmente de los años sesenta a principios de los noventa, cuando el alpinismo mexicano tuvo su mayor auge, los resultados actuales muestran el beneficio económico del ecoturismo, en un momento clave para los ecosistemas alpinos resguardados en el parque. Esta información será clave para el monitoreo futuro y la formulación de políticas y acciones en el área.

Referencias

- Aglephorpe D.R., y Miliadou D. (2000). Economic valuation of the non-use attributes of the wetland: A case-study for lake Kerkini. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(6), 755-767.
- Asafu-Adjaye, J. (2002). *Environmental economics for non-economists*. World Scientific.
- Azqueta Oyarzun, D., Alviar Ramírez, M., Domínguez Villalobos, L., & O'Ryan, R. (2007). *Introducción a la economía ambiental* (Segunda edición, pp. 99–145). McGraw-Hill Interamericana.
- Barceinas, F. (1999). Función de ingresos y rendimiento de la educación en México. *Estudios Económicos*, 14(1 (27)), 87–127. <http://www.jstor.org/stable/40311420>
- Campo base C4. (2023). *Iztacihuatl, las nieves eternas*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=IOELMMwKtOI>
- León Alejandro Cárñez-Cota, L.A., C. G. Borbón-Morales, J. F., Laborín-Álvarez1, H. A. González-Ocampo, y E. O. Rueda-Puente. (2023). Revisión sistematizada del método costo de viaje: Una aproximación a la valoración económica de áreas naturales protegidas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 26 (2023): #008: 1-17. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4389>
- Casallas, Y. (2006). ¿Preferencias de los usuarios por la entrega en concesión de los servicios recreativos de los Parques Nacionales Naturales? Una aplicación al PNN Los Nevados. Tesis de Maestría en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- Cesario, F. J. (1976). Value of time in recreation benefit studies, *Land Economics*, 52(1): 32–41. <https://doi.org/10.2307/3144984>
- Council NR. (2005). *Valuing ecosystem services: toward better environmental decision-making*: National Academies Press.
- Cordero T., J.M. 2011. Los servicios públicos como derecho de los individuos. *Ciencia y Sociedad*, Vol. XXXVI, Núm. 4: 662-701.
- Chae, D. R., Wattage, P., & Pascoe, S. (2012). Recreational benefits from a marine protected area: A travel cost analysis of Lundy. *Tourism Management*, 33(4), 971-977. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.10.008>
- Choumert, J. y J. Salanié. 2008. "Provision of urban green spaces: Some insights from economics", *Landscape Research*, 33(3): 331-345. <https://doi.org/10.1080/01426390802045996>
- Clawson M. y Knetsch, J. L. (1966): *Economics of outdoor recreation*, The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, Blatimore.
- Darling, A. H. 1973. „Measuring Benefits Generated by Urban Water Parks”, *Land Economics*, 49(1): 22-34. <https://doi.org/10.2307/3145326>
- Del Saz S., S. 1997. Los métodos indirectos del coste de viaje y de los precios hedónicos: Una aproximación. Departamento de economía Aplicada II, Universidad de Valencia, España. *Economía Agraria*, n.º 179 (Enero-Abril): 167-190.
- Fleming, C. M., & Cook, A. (2008). The recreational value of Lake McKenzie, Fraser Island: An application of the travel cost method. *Tourism management*, 29(6), 1197-1205. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.02.022>
- Freeman, A. M.III (1993). *The measurement of environmental and resources values*. Resources for the Future. Washington, D.C.: 445-448.
- GetYourGuide. (2024). *Reserva tours, atracciones y actividades online*. www.getyourguide.es.
- Gobierno de México. (2014). *Los glaciares mexicanos están desapareciendo*. Gob.mx. Centro Nacional de Prevención de Desastres. <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/los-glaciares-mexicanos-estan-desapareciendo#:~:text=Un%20tema%20que%20posiblemente%20en%20M%C3%A9xico%20no%20ha>
- Hellerstein, D.M. (1991). Using count data models in travel cost analysis with aggregate data. *American Journal of Agricultural Economics* 73(3), 860-866.
- Hernández-Trejo, V., Avilés-Polanco, G., & Almendarez-Hernández, M. A. (2012). Beneficios económicos de los servicios recreativos provistos por la biodiversidad acuática del Parque Nacional Archipiélago Espíritu Santo. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 20(40), 157-177.
- INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2020). Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático y Ecología. 88 p.
- Lele S., Springate-Baginski O., Lakerveld R., Deb D., Dash P. (2013). Ecosystem services: origins, contributions, pitfalls, and alternatives. *Conservation and Society*, 11 (4): 343-358.
- Mair, P., & Wilcox, R. (2020). Robust statistical methods in R using the WRS2 package. *Behavior Research Methods*, 52. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01246-w>.
- Martínez-Cruz, A. L., & Sainz-Santamaría, J. (2017). El valor de dos espacios recreativos periurbanos en la Ciudad de México. *El trimestre económico*, 84(336), 805-846
- Mendes, I., & Proença, I. (2011). Measuring the social recreation per-day net benefit of the wildlife amenities of a national park: a count-data travel-cost approach. *Environmental Management*, 48, 920-932. <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9733-1>
- Morales-Zarate, M.V., Almendarez Hernández, M.A., Sánchez Brito, I., & Salinas-Zavala, C.A. (2019). Valoración económica del servicio ecosistémico recreativo de playa en Los Cabos, Baja California Sur (BCS), México: Una aplicación del Método de Costo de Viaje. *El periplo sustentable*, (36), 447-469.
- Nahuelhual-Muñoz, L. & Núñez-Parrado, D. (2010). Beneficios económicos de la recreación en áreas protegidas públicas del sur de Chile. *Estudios y perspectivas en turismo* 19(5), 703-721.
- Norgaard RB. (2010). Ecosystem services: From eye-opening metaphor to complexity blinder. *Ecological economics*, 69 (6): 1219-1227.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2021). *Ayoloco, el corazón del agua que dejó de latir en México*. <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492932>
- Ortega-Rubio, A., Pinkus-Rendón, M. J., & Espitia-Moreno, I. C. (2015). Las áreas naturales protegidas y la investigación científica en México. *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC, La Paz, BCS, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México*. https://www.researchgate.net/profile/Joaquin-Sosa-Ramirez/publication/289247441_Los_ecosistemas_de_la_Sierra_Fria_en_Aguascalientes_y_su_conservacion/links/568a907308ae1e63f1fbd634/Los-ecosistemas-de-la-Sierra-Fria-en-Aguascalientes-y-su-conservacion.pdf (Consultado 02 de octubre de 2024).
- Osorio-García, M., Franco-Mass, S, Ramírez de la O, I.L., Nava-Bernal, G., Novo-Espinosa de los Monteros, G., & Regil, H. H. (2011). El visitante del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. Análisis del comportamiento en un área natural protegida. *Investigaciones geográficas*, (76), 56-70.
- Reyers B, Polasky S, Tallis H, Mooney HA, Larigauderie A. (2012). Finding common ground for biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 62 (5): 503-507.
- Rinku Singh R., G. S. Singh (2017). Ecosystem services: A bridging concept of ecology and economics. *Ecological Questions* 25/2017: 95–101 <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2017.008>.

- Rosen, S. 1974. "Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition", *Journal of Political Economy*, 82(1): 34-55. <https://doi.org/10.1086/260169>
- Sánchez, J. M. (2008). Valoración contingente y costo de viaje aplicados al área recreativa Laguna de Mucubají Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. *Economía*, núm. 26, julio-diciembre, 119-150.
- Sánchez, V., & Bifaretti, M. (2016). Los activos ambientales y la importancia de su reconocimiento en la información financiera. Retrieved September 22, 2022, from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/72567/Documento_completo.10%20S%C3%81NCHEZ%20-%20BIFARETTI.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- SEGOB (2024). Decreto por el que se reforman diversos ordenamientos en materia de pueblos y comunidades indígenas y afromexicanas. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Secretaría de Gobernación; Estados Unidos Mexicanos; DOF 01/04/2024.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) & CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2013). *Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl*. México
- SIMEC. (2024). Sistema de información, monitoreo y evaluación para la conservación. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. https://simec.conanp.gob.mx/consulta_fichas.php (Consultado 08 de octubre de 2024).
- Tietenberg, T. y L. Lewis. 1996. *Environmental and natural resource economics*. 9th ed. Pearson Education Inc. New York, USA. 696 p.
- Viator. (2024). *Book things to do, tickets, tours & attractions*. Viator.com. www.viator.com

CAPÍTULO NUEVE

VALORACIÓN INTEGRAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA SIERRA OCCIDENTAL DE JALISCO: SINERGIAS ENTRE MANEJO LOCAL Y CONSERVACIÓN FORMAL

Dr. Juan Manuel Núñez Hernández y Dr. José Alberto Lara Pulido¹

Mtra. Gabriela Quiroz Cázares²

Mtro. Santiago Machado Macias³

Resumen

Este capítulo evalúa de manera integral los servicios ecosistémicos prioritarios en el territorio del Paisaje Biocultural Sierra Occidental de Jalisco, cuantificando sus flujos biofísicos y su valor económico proyectado al año 2035 bajo distintos escenarios de manejo y conservación. A través de talleres participativos con actores locales se identificaron servicios clave —purificación de agua, retención de suelo, almacenamiento de carbono y turismo recreativo y religioso—, así como las principales presiones humanas sobre el territorio.

Se diseñaron cuatro escenarios de cambio de uso de suelo mediante un modelo basado en redes neuronales: uno tendencial, que proyecta la continuidad de las dinámicas actuales, y tres alternativos que integran acciones de manejo sostenible y conservación a través de un área natural protegida. Estos escenarios permitieron modelar servicios ecosistémicos como la recarga hídrica, la captura de carbono y la reducción de la erosión utilizando herramientas como SWAT y análisis de datos turísticos.

La valoración económica anual se realizó con métodos de precios de mercado, costos evitados y valores de referencia. Los resultados muestran que todos los escenarios alternativos incrementan la provisión y el valor económico de los servicios en comparación con el tendencial. Sobresale el escenario que combina conservación efectiva con manejo óptimo del territorio, el cual genera un valor adicional cercano a 4,372 millones de pesos anuales, equivalente a una cuarta parte de la producción anual de agave en Jalisco.

Se concluye que articular estrategias locales de manejo sustentable con instrumentos formales de conservación produce beneficios significativos para el bienestar humano y justifica la implementación de mecanismos financieros innovadores, como contribuciones del turismo, para respaldar la conservación. Se presentan recomendaciones de política pública orientadas a incorporar esta valoración en la planificación territorial.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, recarga hídrica, captura de carbono, reducción de erosión, planificación territorial.

Abstract

This chapter provides a comprehensive assessment of priority ecosystem services in the territory of the Sierra Occidental Biocultural Landscape of Jalisco, quantifying their biophysical flows and economic value projected to 2035 under different management and conservation scenarios. Participatory workshops with local stakeholders identified key services—water purification, soil retention, carbon storage, and recreational and religious tourism—as well as the main human pressures on the territory.

Four land-use change scenarios were developed using a neural network-based model: a baseline scenario projecting the continuation of current dynamics, and three alternative scenarios combining sustainable management and conservation actions through a protected natural area. These scenarios were used to model ecosystem services such as water recharge, carbon sequestration, and erosion reduction with tools such as SWAT and tourism data analysis.

The annual economic valuation was conducted using methods including market prices, avoided costs, and reference values. Results show that all alternative scenarios im-

1 Universidad Iberoamericana Ciudad de México, Centro Transdisciplinar Universitario para la Sustentabilidad (Centrus). Correo: juan.nunez@ibero.mx y jumnuh@gmail.com, y jose.lara@ibero.mx y jose.alberto.lara@gmail.com

2 Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo). Correos: gquiroz@centrogeo.edu.mx y gaquica@gmail.com

3 Rainforest Alliance México. Correos: smachado@ra.org y santiago.machado@gmail.com

prove the provision and economic value of services compared to the baseline. The scenario that integrates effective conservation with optimal land management stands out, generating an additional annual value of nearly 4.372 billion pesos, equivalent to one quarter of Jalisco's annual agave production.

The conclusion is that aligning local sustainable management strategies with formal conservation instruments generates significant benefits for human well-being and justifies the adoption of innovative financial mechanisms, such as tourism contributions, to support conservation. Policy recommendations are presented to integrate this valuation into territorial planning.

Keywords: Ecosystem services, water recharge, carbon sequestration, erosion reduction, territorial planning.

Introducción

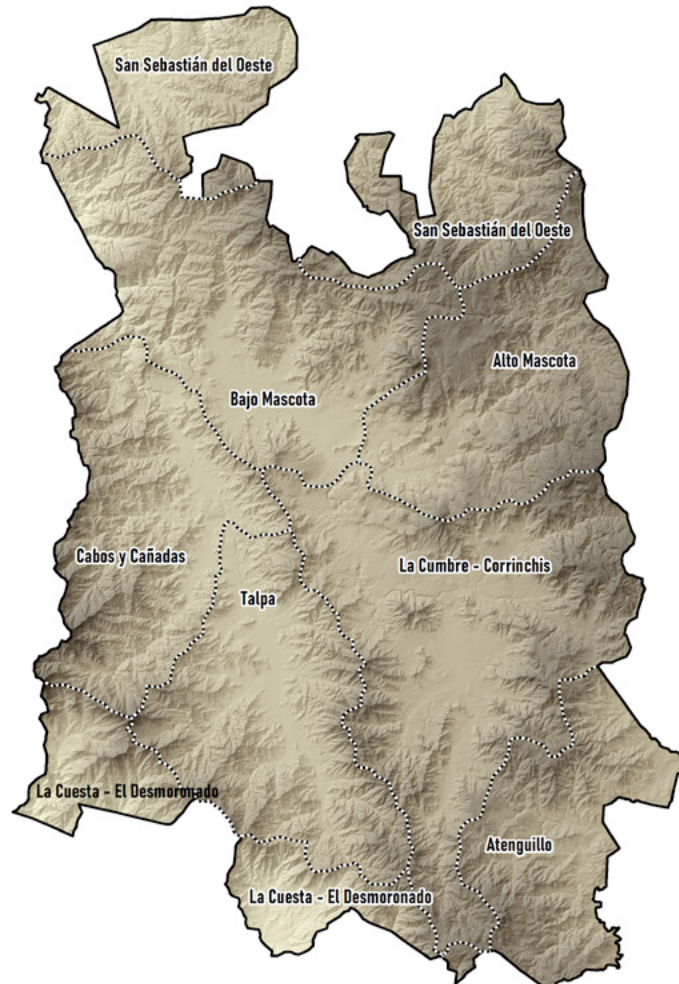
Los servicios ecosistémicos se definen como las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas, de forma directa o indirecta, proporcionan beneficios indispensables para el bienestar humano y el desarrollo económico. Estos beneficios comprenden una amplia gama de procesos ecológicos, como la filtración del agua, la retención de suelos, la polinización de cultivos y la captura de carbono, que sustentan diversos tipos de servicios: los servicios de provisión incluyen alimentos y agua; los servicios culturales abarcan el disfrute recreativo, así como el valor espiritual y estético de los ecosistemas; los servicios de regulación se relacionan con la moderación del clima, la calidad del agua y el control de la erosión; y los servicios de soporte o apoyo permiten funciones ecológicas fundamentales como el ciclo de nutrientes y la formación de suelos (Ruiz, 2018).

Desde su inclusión en la agenda internacional de desarrollo sostenible en la Cumbre de Río de 1992, el concepto de servicios ecosistémicos ha evolucionado para incorporar dimensiones ecológicas, económicas y socioculturales. Esta evolución ha consolidado su utilidad como herramienta clave para apoyar la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas orientadas al bienestar humano y la conservación de la naturaleza (MEA, 2005).

De acuerdo con este marco conceptual, los servicios ecosistémicos pueden ser estudiados desde tres enfoques complementarios: (1) biofísico o ecológico, que se enfoca en medir las funciones y propiedades de los ecosistemas que dan origen a los servicios (p. ej., métricas de cantidad de agua infiltrada, carbono almacenado); (2) económico, que busca asignar un valor monetario a los servicios, incorporando tanto valores de uso directo como indirecto, así como valores de no uso, tales como los de existencia y legado; y (3) social, que considera la percepción y preferencia de la sociedad respecto a los servicios, incluyendo valores culturales y patrimoniales que no siempre se reflejan en el mercado. Una comprensión integral que combine estos enfoques es necesaria para una gestión efectiva del territorio, pero requiere trabajo interdisciplinario y desarrollo de métodos que vinculen las características ecológicas con sus efectos en el bienestar humano (Altesor et al., 2011; Caro-Caro y Torres-Mora, 2015). En particular, el análisis espacial de los servicios ecosistémicos mediante mapas y modelos resulta fundamental para comunicar cómo la provisión de servicios varía en el territorio y bajo diferentes escenarios de manejo. El mapeo explícito de los servicios en el paisaje se reconoce como un paso clave para integrar el enfoque de servicios ecosistémicos en la toma de decisiones, ya que permite que autoridades y usuarios visualicen las áreas de alta provisión de servicios y comprendan los posibles impactos de las intervenciones (Fisher *et al.*, 2009; Crossman *et al.*, 2013; Cotler *et al.*, 2022).

En este contexto, en el presente estudio se propuso realizar una valoración integral de servicios ecosistémicos prioritarios en la Sierra Occidental de Jalisco, considerando dimensiones biofísicas, económicas y sociales. Esta última incorpora la perspectiva de los actores sociales que habitan y gestionan el territorio, entendido como un Paisaje Biocultural. El objetivo fue generar información que sustente una gestión sostenible, reconociendo tanto las funciones ecológicas de los ecosistemas como los valores económicos y socioculturales que les atribuyen las comunidades locales. Un Paisaje Biocultural es una figura de gestión territorial que busca conciliar la producción rural y la conservación ecológica, reconociendo la interdependencia entre la biodiversidad y la cultura local. El territorio del Paisaje Biocultural Sierra Occidental de Jalisco se ubica en la región Costa-Sierra Occidental de Jalisco y abarca poco más de 300,000 hectáreas, incluyendo principalmente los municipios de Atenguillo, Mascota, San Sebastián del Oeste y Talpa de Allende, con porciones menores de Mixtlán y Cuautla. Es una región predominantemente montañosa de origen volcánico, con altitudes desde 380 hasta 2,700 metros sobre el nivel del mar, caracterizada por un mosaico de bosques de coníferas, selvas, matorrales, zonas agrícolas y ganaderas, así como comunidades rurales con fuerte arraigo cultural (Mapa 1).

Mapa 1. Zonas del Paisaje Biocultural. Elaboración propia.



Fuente: elaboración propia con información de INEGI (2025).

Esta diversidad ecológica y cultural refleja un equilibrio histórico entre las poblaciones locales y su entorno, expresado en costumbres, historia y productos tradicionales propios de la zona (Lacroix & Machado, 2017). Sin embargo, el territorio enfrenta presiones crecientes, entre las que destacan los cambios de uso de suelo (ampliación de la frontera agropecuaria, desarrollos urbanos), la explotación forestal, la erosión de suelos, así como actividades turísticas intensivas, entre ellas una afluencia masiva de peregrinos religiosos a Talpa de Allende y eventos de deporte motor conocidos como el “Vallartazo”, que recorren la región. Estas actividades, si no se gestionan adecuadamente, pueden comprometer la provisión de servicios ecosistémicos clave para las comunidades locales. Con el fin de sustentar acciones de manejo sostenible, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la organización Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable (ENDESU) con el apoyo de la Agencia Francesa de Desarrollo (AFD), promovieron un amplio proceso de concertación y animación con los actores socioproductivos y gobiernos locales en la región para desarrollar el modelo Paisaje Biocultural (inspirado en los Parques Naturales Regionales de Francia), mismo que fue puesto en marcha, dando lugar al reconocimiento del territorio como Paisaje Biocultural Sierra Occidental de Jalisco en 2023, previo a la declaratoria del Área Natural Protegida (ANP) Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo-Río Ameca (DOF, 2024). Este estudio responde a la necesidad de cuantificar las contribuciones de la naturaleza al bienestar humano, tanto económico como social, en este territorio biocultural, así como de explorar cómo dichas contribuciones podrían transformarse bajo distintos escenarios de manejo y conservación. La hipótesis central sostiene que la articulación entre prácticas locales de manejo sustentable y mecanismos formales de conservación genera sinergias positivas que fortalecen la provisión de servicios ecosistémicos, en contraste con contextos donde estas acciones ocurren de manera fragmentada o están ausentes. Para probar esta hipótesis, se desarrolló una metodología en tres etapas: (1) participación social para la selección de servicios ecosistémicos prioritarios y definición de escenarios;

(2) modelación biofísica espacial de los servicios en cada escenario; y (3) valoración económica de los cambios en los servicios entre escenarios. Los hallazgos de este estudio ofrecen información cuantitativa clave sobre los beneficios derivados de la conservación y el manejo sostenible en la Sierra Occidental de Jalisco. Esta información resulta valiosa no solo para orientar decisiones de inversión y políticas públicas en la región, sino también para fortalecer la gestión adaptativa del Área Natural Protegida (ANP) regional Sierra de Vallejo-Río Ameca, recientemente establecida. Al proporcionar evidencia sobre las contribuciones de los ecosistemas al bienestar humano, los resultados permiten priorizar estrategias de conservación con base en su efectividad y pertinencia territorial. A continuación, se describe la metodología empleada y posteriormente se presentan los principales resultados obtenidos, seguidos de conclusiones y recomendaciones de política.

Metodología

La investigación se dividió en tres etapas secuenciales para cumplir los objetivos específicos. En la primera etapa, se llevó a cabo un proceso participativo con actores locales —miembros del Grupo Promotor Local del Paisaje Biocultural, ejidatarios, autoridades municipales, productores, artesanos y prestadores de servicios turísticos— mediante la realización de dos talleres comunitarios en el municipio de Mascota, Jalisco, los días 9 de febrero y 6 de abril de 2019. Estos encuentros buscaron priorizar los servicios ecosistémicos más relevantes en la región, comprender las presiones actuales sobre el territorio y construir de manera colectiva escenarios futuros de manejo sustentable.

Como parte del enfoque metodológico, se utilizaron dinámicas de trabajo por afinidad productiva (agricultores, cafecultores, artesanos y prestadores turísticos) que permitieron mapear de forma colaborativa las interacciones entre las actividades humanas y las funciones ecológicas del paisaje. Asimismo, se desarrolló una cartografía participativa que identificó zonas de presión y valor ecológico-cultural, insumos clave para alimentar el modelado espacial y definir estrategias diferenciadas de manejo territorial.

Este ejercicio permitió identificar un conjunto diverso de servicios ecosistémicos, de los cuales se priorizaron cinco como los más relevantes para la región: (i) purificación de agua, entendida como la capacidad de los ecosistemas para regular y mejorar la calidad del recurso hídrico; (ii) retención de suelos, mediante procesos naturales que controlan la erosión y favorecen la estabilidad del terreno; (iii) almacenamiento de carbono, a través de la captura de dióxido de carbono en la vegetación y los suelos, contribuyendo a la mitigación del cambio climático; (iv) turismo recreativo, vinculado con el disfrute del entorno natural; y (v) turismo religioso, relacionado con las peregrinaciones y visitas a sitios que poseen un profundo significado cultural para las comunidades locales.

Además, los talleres permitieron identificar las principales dinámicas de transformación del territorio, entre ellas la expansión agrícola y ganadera, la tala clandestina, los incendios forestales, la migración y el abandono de tierras, así como actividades turísticas intensivas como las peregrinaciones masivas a la Basílica de Talpa de Allende y los eventos de turismo motorizado conocidos como el “Vallartazo”, que atraviesan la región hacia la costa. A partir de este diagnóstico participativo, los asistentes delinearon escenarios futuros proponiendo tanto medidas para remediar estas problemáticas como estrategias para fortalecer prácticas sostenibles ya existentes en el territorio.

En la segunda etapa, se desarrolló la modelación espacial biofísica de los servicios ecosistémicos para distintos escenarios al horizonte 2035. Primero, se construyeron cuatro escenarios de uso de suelo y vegetación con base en la información recopilada. El primero constituye la línea base, mientras que los otros tres escenarios incorporan diversas combinaciones de estrategias de manejo local y de conservación:

Escenario 0: Tendencial (E M0) – Representa la continuación de las tendencias actuales hasta 2035, funcionando como línea base (business as usual). Se caracteriza por la ausencia de nuevas políticas o intervenciones significativas en el manejo del territorio, por lo que refleja los patrones recientes de cambio de uso de suelo, deforestación, expansión agrícola y presiones turísticas sin mecanismos adicionales de regulación o contención.

Escenario 1: Manejo local con contención (E M1) – Implementa las acciones y medidas definidas en la Carta Territorial y el funcionamiento efectivo del Acuerdo de Gestión Territorial del Paisaje Biocultural orientadas a un uso sostenible del suelo (por ejemplo, prácticas agrícolas mejoradas, manejo ganadero controlado, reforestación local), considerando la zonificación establecida por los actores locales para promover actividades deseables en cada subregión. Este escenario asume cambios positivos plausibles en 15 años, pero mantiene ciertos factores de degradación imprevistos o difíciles de controlar, por ejemplo, se modera la expansión agrícola pero sin eliminar totalmente eventos de deforestación o sequías extremas.

Escenario 2: Manejo óptimo del territorio (E M2) – Representa un escenario más ambicioso de manejo sostenible, libre de factores desestabilizantes. Además de las medidas de E M1, en este escenario se controlan las principales presiones turísticas regionales, suprimiendo los impactos negativos asociados a las rutas de peregrinos, el ecoturismo no regulado y el evento “Vallartazo”. En términos prácticos, E M2 supone que se logra ordenar la actividad turística: las visitas religiosas no aumentan más allá de la capacidad de carga y las actividades recreativas de aventura se manejan sustentablemente. Es un futuro intermedio entre la tendencia actual y el ideal de conservación, con cambios razonables y sin sobresaltos.

Escenario 3: Manejo óptimo + conservación (E M3) – Escenario más integral y optimista, resultado de articular un manejo óptimo del territorio del Paisaje Biocultural (E M2) con la conservación efectiva del ANP. Aquí se conjugan todos los esfuerzos: se llevan a cabo las prácticas locales sostenibles, no ocurren desmonte o tala fuera de control (la simulación eliminó efectos de deforestación), se regulan las actividades turísticas masivas, y el área protegida funciona plenamente. E M3 es, por tanto, un escenario de sinergia máxima entre actores locales e institucionales, en el que se logra frenar la degradación de ecosistemas casi por completo mientras se mantiene la producción y se reduce el impacto del turismo.

Para proyectar la distribución futura de usos de suelo y vegetación en cada uno de estos escenarios, se utilizó un modelo computacional basado en redes neuronales que incorpora los factores ambientales y antrópicos relevantes. Este modelo aprendió de los cambios históricos en la región y de la zonificación acordada por los actores locales, para luego simular mapas de uso de suelo al 2035 bajo las condiciones de cada escenario. Las salidas de este modelo fueron mapas espaciales donde cada píxel del paisaje se asigna a una categoría de cobertura (bosque, agricultura de riego, agricultura de temporal, matorral, pastizal, asentamientos, etc.) acorde con las reglas y supuestos de cada escenario. Con estos mapas en mano, se procedió a cuantificar los servicios ecosistémicos en cada escenario mediante modelos biofísicos especializados:

Purificación de agua y retención del suelo: Se utilizó el modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), desarrollado por el Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA) y la Univ. Texas A&M, para estimar tanto la recarga de agua subterránea como la erosión y sedimentación en la cuenca. SWAT simula el ciclo hidrológico a partir de datos de clima (precipitación, temperatura, viento, radiación, humedad), topografía, tipos de suelo y cobertura vegetal. Se alimentó al modelo con información espacial oficial: carta de uso de suelo (INEGI, 2017a), modelo de elevación digital (INEGI, 2017b), mapas edafológicos y perfiles de suelo (INEGI, 2009; INEGI, 2013), así como datos climáticos locales (CICESE, 2013; Texas A&M et al., 2019). Para cada escenario, SWAT generó indicadores anuales relevantes, de los cuales se tomaron: (a) volumen de agua infiltrada o recarga ($\text{m}^3/\text{año}$) como proxy de purificación de agua, asumiendo que el ecosistema filtra y repone ese volumen de agua limpia al acuífero; y (b) volumen de sedimentos exportados de las laderas hacia los cauces ($\text{m}^3/\text{año}$), indicador inverso de retención de suelo (a menor sedimentación, mayor retención). Estos resultados se obtuvieron por subcuenca e integrados para todo el paisaje en cada escenario.

Almacenamiento de carbono: Se calculó la cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) almacenado en la biomasa y suelo para cada escenario, aplicando factores de contenido de carbono por hectárea para cada tipo de cobertura. En particular, se utilizaron factores de carbono publicados en estudios nacionales (por ejemplo, contenido de carbono en biomasa aérea, raíces, suelo y materia muerta para bosques de coníferas, selvas, matorrales, usos agrícolas, etc.). A modo de ejemplo, un bosque de coníferas primario almacena alrededor de 65 toneladas de carbono por hectárea solo en biomasa aérea, más carbono en raíces y suelo, mientras que un uso agrícola almacena cifras mucho menores. Multiplicando dichos factores por la superficie de cada cobertura en los mapas de escenarios, se obtuvo el almacenamiento total de CO_2e (toneladas) en el Paisaje Biocultural bajo cada escenario.

Turismo recreativo y turismo religioso: Se recopiló información de turismo de la región (Castillo-López, 2017) para estimar el número de visitantes bajo cada escenario. En el escenario base, se calculó que unos 2 millones de personas realizan peregrinaciones religiosas a Talpa de Allende al año, mientras que el turismo recreativo gene-

ral se estimó en alrededor de 63,500 visitantes anuales. Los escenarios incorporaron los supuestos cualitativos sobre turismo planteados: en E M1 se mantendrían las mismas cifras del tendencial; en E M2 y E M3 se buscó reducir la afluencia de turismo religioso (para disminuir la presión ambiental) y aumentar el turismo recreativo sostenible aprovechando los recursos naturales. Para concretar esto en números, se aplicó un análisis económico: asumiendo un comportamiento de la demanda turística con elasticidad-precio de -0.58 (Crouch, 1994), se encontró que imponer una contribución o tarifa por visitante religioso podría reducir las visitas en 20% aproximadamente. En particular, una contribución de 290 pesos por peregrino reduciría las peregrinaciones de 2,000,000 a 1,600,000 personas por año. Este supuesto se aplicó en los escenarios E M2 y E M3, donde el turismo religioso baja a 1.6 millones de visitas anuales. Al mismo tiempo, se consideró que los recursos recaudados de dicha contribución se reinvertirían en mejorar y promover el turismo recreativo, logrando un aumento estimado del 50% en este tipo de turismo (esto eleva las visitas recreativas de ~63 mil a ~95 mil en aquellos escenarios). E M2 y E M3, al no intervenir en turismo, mantienen las cifras tendenciales (2,000,000 religiosas, ~63,500 recreativas).

La tercera etapa integró los resultados de las anteriores mediante un balance comparativo de los servicios ecosistémicos entre escenarios. Para cada servicio, se comparó su nivel en los escenarios de intervención (E M1–E M3) frente al escenario tendencial (E M0). Esto permitió calcular los cambios marginales atribuibles a las acciones de manejo y conservación. Posteriormente, a estos cambios físicos se les asignó un valor monetario unitario para estimar el valor económico adicional generado en cada escenario alternativo. Dicha valoración económica se realizó con los siguientes criterios y fuentes:

Purificación de agua: Se valoró mediante el costo de oportunidad del agua subterránea. Es decir, se usó un precio por metro cúbico basado en los costos estimados por el agotamiento de acuíferos. Según las Cuentas Económicas y Ecológicas de México (INEGI, 2014), dicho valor es aproximadamente \$5 MXN/m³ en 2013; actualizado a 2020 equivale a \$6.3 MXN por m³. Este valor unitario multiplica el volumen de agua infiltrada adicional en cada escenario (respecto a E M0) para obtener el beneficio monetario de la mayor recarga.

Retención de suelos (sedimentación): Se adoptó un enfoque de costo de reemplazo, valorando el suelo retenido a partir del costo de remover sedimentos (desazolve) en cuerpos de agua. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) reportó en 2011 un costo promedio de \$50.28 MXN por m³ de sedimento dragado; actualizado a la fecha equivale a \$69.3 MXN/m³. Así, por cada metro cúbico menos de sedimento que llega a los cauces (es decir, por cada m³ adicional de suelo retenido en laderas), se ahorraría ese costo de desazolve, representando el valor del servicio de regulación de erosión.

Almacenamiento de carbono: Se utilizó un precio sombra del carbono con base en lineamientos del Banco Mundial (World Bank, 2017). Este organismo recomienda valorar las reducciones de una tonelada de CO₂e en un rango de \$39 a \$78 USD para 2020, como costo social del carbono. Tomando un valor intermedio cercano a \$58 USD/ton y asumiendo una paridad promedio de 20 pesos por dólar, se empleó \$1,150 MXN por tonelada de CO₂e. De este modo, el aumento en toneladas de CO₂e almacenadas en vegetación y suelos en cada escenario se convirtió en un valor monetario potencial (aunque sea un valor intangible, refleja la contribución climática de la conservación).

Turismo recreativo: Se valoró usando el gasto turístico promedio por visitante. Con datos de Castillo-López (2017), se consideró que cada turista recreativo nacional gasta aproximadamente \$665 MXN en la región (en alojamiento, alimentación, transporte local, actividades). De este modo, los incrementos en número de turistas recreativos (p.ej. +31,764 visitantes en E M2) implican un ingreso adicional de alrededor de \$21.1 millones de pesos anuales en la economía local por este concepto. Ese valor se sumó como beneficio económico del servicio de recreación en la naturaleza.

Turismo religioso: A diferencia del recreativo, en los escenarios seleccionados este servicio disminuye, ya que se restringe la afluencia. Para valorar el efecto económico, se estimó un gasto promedio de \$800 MXN por peregrino (incluyendo transporte, comida, compras durante su visita). Bajo este supuesto, una reducción de 400,000 peregrinos (de 2 millones a 1.6 millones) implica una pérdida de ~\$320 millones de pesos anuales para la economía local ligada a la actividad religiosa. Este valor negativo fue incluido en el balance económico de E M2 y E M3. Sin embargo, simultáneamente, se consideró la implementación de la contribución de \$290 MXN/visitante que generaría un ingreso público de \$464 millones de pesos al año (1.6 millones de peregrinos * \$290) destinado a financiar actividades de conservación. Este ingreso por contribución se contabilizó aparte, reflejando un potencial mecanismo de financiamiento.

Resultados

El análisis integral de los servicios ecosistémicos en el Paisaje Biocultural Sierra Occidental de Jalisco se organizó en cinco apartados principales. Primero, se presenta la priorización de los servicios ecosistémicos más relevantes para la región y las principales presiones territoriales identificadas a partir de talleres participativos. En segundo lugar, se describen los escenarios prospectivos de manejo y conservación construidos mediante modelación espacial. Posteriormente, se exponen los resultados biofísicos obtenidos para cada escenario, seguidos por la valoración económica anual de los cambios en los servicios ecosistémicos. Finalmente, se analiza la sinergia entre las estrategias locales de manejo y los instrumentos formales de conservación, destacando su papel fundamental en el fortalecimiento de la provisión de servicios ecosistémicos y su valorización económica.

Priorización de servicios ecosistémicos y presiones territoriales.

Los talleres participativos permitieron identificar cinco servicios ecosistémicos prioritarios en la Sierra Occidental de Jalisco: purificación de agua, retención de suelos, almacenamiento de carbono, turismo recreativo y religioso. Asimismo, se documentaron presiones antropogénicas significativas, como el cambio de uso de suelo, la expansión agrícola y ganadera, la tala ilegal, los incendios forestales y la intensificación del turismo religioso y de aventura (por ejemplo, eventos como el “Vallartazo”), que amenazan la provisión sostenible de estos servicios.

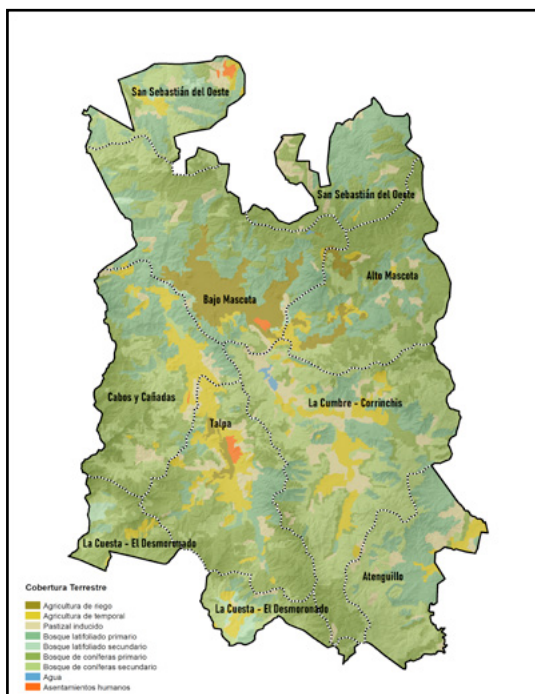
Modelación espacial bajo escenarios de manejo y conservación.

Con base en la información recopilada, se construyeron cuatro escenarios prospectivos hacia 2035:

- Tendencial (E M0): continuidad de las dinámicas actuales sin medidas adicionales de manejo o conservación.
- Manejo local con contención (E M1): aplicación de prácticas sostenibles moderadas impulsadas por los actores locales.
- Manejo óptimo del territorio (E M2): implementación amplia de prácticas sostenibles y control de presiones antrópicas, como la regulación del turismo masivo.
- Manejo óptimo más conservación (E M3): integración sinérgica de prácticas locales de manejo sostenible y la consolidación de un Área Natural Protegida (ANP), minimizando casi por completo los factores de degradación.

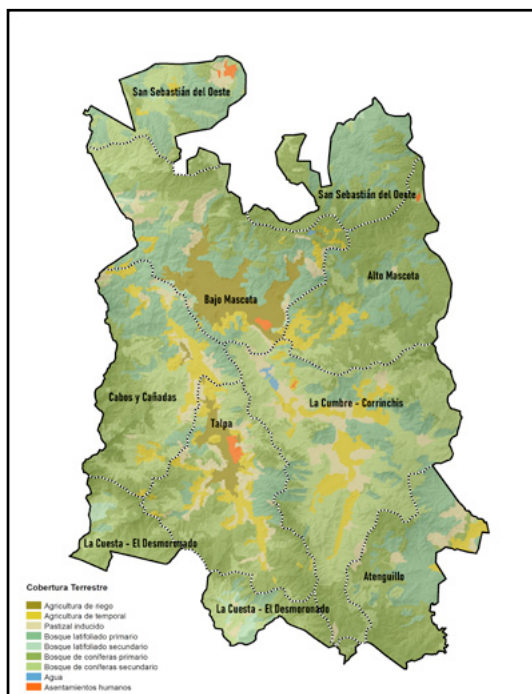
Cada escenario fue modelado mediante un enfoque de redes neuronales artificiales, proyectando cambios en el uso del suelo y la vegetación, y su impacto en la oferta de servicios ecosistémicos (Mapas 2, 3, 4 y 5).

Mapa 2. Modelo 0, escenario tendencial del Paisaje Biocultural al 2035 (E M0).



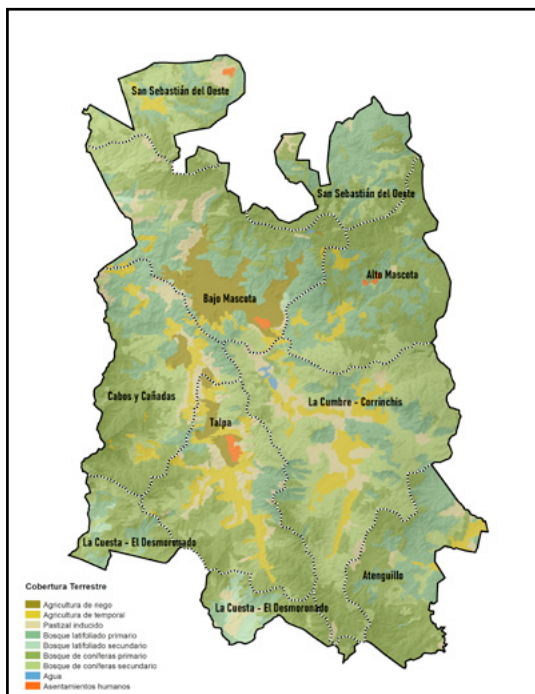
Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2025) e INEGI (2025).

Mapa 3. Modelo 1, escenario de contención del Paisaje Biocultural al 2035 (E M1).



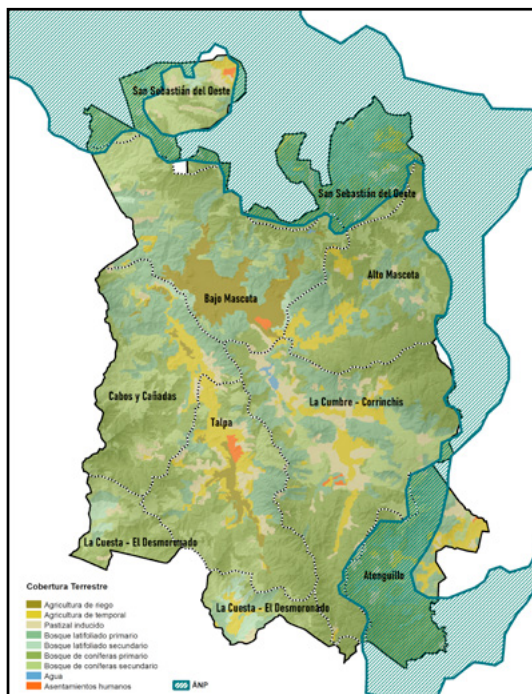
Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2025) e INEGI (2025).

Mapa 4. Modelo 2, escenario de manejo óptimo del Paisaje Biocultural al 2035 (E M2).



Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2025) e INEGI (2025).

Mapa 5. Modelo 3, escenario de contención + instrumentos de conservación en el Paisaje Biocultural al 2035 (E M3).



Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2025) e INEGI (2025).

Resultados biofísicos.

La modelación biofísica reveló que todos los escenarios alternativos aumentan la provisión de servicios ecosistémicos respecto al escenario tendencial (Tabla 1).

Tabla 1. Valores biofísicos de los servicios ecosistémicos valorados para los diferentes escenarios para el paisaje Biocultural al 2035. Elaboración propia.

Servicio ecosistémico	E M0 (Tendencial)	E M1 (Contención)	E M ² (Manejo óptimo)	E M ³ (Manejo óptimo + conservación)
Purificación de agua (m ³ /año)	548,074,268	554,281,633	559,710,157	565,986,585
Retención de suelos (menor sedimentación) (m ³ /año)	16,541,014	15,640,462	15,504,912	9,271,381
Almacenamiento de carbono (toneladas CO ₂ e)	48,811,708	49,116,668	49,113,188	51,763,026
Turismo recreativo (personas)	63,528	63,528	95,292	95,292
Turismo religioso (personas)	2,000,000	2,000,000	1,600,000	1,600,000

Fuente: elaboración propia.

El escenario de manejo óptimo más conservación (E M3) destacó como el que maximiza la provisión de todos los servicios, reflejando reducciones significativas en erosión y mayores tasas de captura de carbono.

Valoración económica de los servicios ecosistémicos.

Los cambios biofísicos fueron traducidos en valores monetarios anuales a través de los métodos ya descritos (Tabla 2).

Tabla 2. Valor económico adicional de los servicios ecosistémicos valorados para los diferentes escenarios para el paisaje Biocultural al 2035. Cifras en millones de pesos al año. Elaboración propia.

Servicio ecosistémico	E M1 (millones MXN)	E M ² (millones MXN)	E M ³ (millones MXN)
Purificación de agua	39.1	73.3	112.8
Retención de suelos	62.4	71.8	503.8
Almacenamiento de carbono	350.7	346.7	3,394.0
Turismo recreativo y recaudación del turismo religioso	0 + 0	21.1 + 464.0	21.1 + 464.0

Fuente: elaboración propia.

El valor económico total de los servicios ecosistémicos en el escenario de manejo óptimo más conservación (E M3) alcanza aproximadamente 4,372 millones de pesos al año, equivalente a una cuarta parte del valor de la producción anual de agave en Jalisco.

Sinergias entre manejo local y conservación.

El análisis comparativo de los escenarios M0, M1, M2 y M3 revela la importancia crítica de combinar estrategias de manejo sostenible local con instrumentos formales de conservación para maximizar la provisión de servicios ecosistémicos.

El escenario tendencial (M0) representa la continuidad de las dinámicas actuales, caracterizadas por una pérdida gradual de servicios ecosistémicos debido a la expansión agrícola, la degradación del suelo y el incremento de presiones antrópicas como el turismo masivo no regulado. Bajo esta tendencia, los volúmenes de purificación de agua, retención de suelos y almacenamiento de carbono se mantienen en niveles inferiores, comprometiendo el bienestar futuro de las comunidades locales.

El escenario de manejo local con contención (M1) introduce mejoras parciales al promover prácticas sostenibles entre los actores territoriales, como una agricultura menos intensiva y acciones de reforestación local. Aunque se observan avances moderados respecto al escenario tendencial —como un incremento en la recarga de agua y una ligera reducción de la erosión—, las limitaciones inherentes a la falta de control sobre presiones externas impiden alcanzar un cambio estructural en la provisión de servicios.

Por su parte, el escenario de manejo óptimo del territorio (M2) representa un avance importante al suprimir factores de presión clave, como el turismo religioso no regulado y eventos de turismo motorizado de alta intensidad. La implementación de prácticas de manejo sostenible más sistemáticas permite una mayor recuperación ecológica, evidenciada en un aumento de la recarga hídrica, una significativa mejora en la retención de suelos y una expansión del almacenamiento de carbono. No obstante, al carecer de una figura formal de conservación que consolide los avances, las mejoras, aunque sustanciales, permanecen vulnerables a cambios futuros en las dinámicas de ocupación y uso del suelo.

Finalmente, el escenario de manejo óptimo más conservación (M3) constituye el mejor desempeño observado. La integración de prácticas óptimas de manejo local con la operación efectiva del Área Natural Protegida (ANP) logra maximizar los beneficios biofísicos y económicos. Se alcanzan los mayores volúmenes de purificación de agua y captura de carbono, junto con la reducción más drástica en la sedimentación. Además, la estrategia de contención del turismo religioso mediante la implementación de una contribución económica por visitante permite disminuir la presión sobre los ecosistemas y al mismo tiempo generar recursos financieros significativos para fortalecer la gestión sustentable del territorio.

Estos resultados confirman que ni el manejo local aislado (M1, M2) ni la conservación sin articulación social garantizan, por sí solos, una transición efectiva hacia un paisaje biocultural resiliente. Es la sinergia entre acciones locales y mecanismos formales de conservación lo que permite optimizar la provisión de servicios ecosistémicos y asegurar beneficios económicos sostenibles a largo plazo. Esta combinación estratégica ofrece un modelo replicable para otros territorios que buscan equilibrar la producción rural, la conservación ecológica y el bienestar de sus comunidades.

Conclusiones

El decreto de la Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo–Río Ameca (DOF, 2024) protege más de 225,000 hectáreas de alta diversidad ecológica y cultural. Su creación garantiza la conservación de ecosistemas críticos, fortalece la conectividad regional y ofrece una plataforma para integrar estrategias de manejo sostenible, financiamiento innovador y desarrollo regional sustentable.

La implementación exitosa de este modelo requerirá continuidad política, fortalecimiento de capacidades locales y esquemas de gobernanza adaptativa que aseguren la corresponsabilidad de todos los actores.

La valoración integral presentada en este estudio proporciona evidencia concreta de los beneficios de articular manejo local y conservación formal, consolidando al Paisaje Biocultural Sierra Occidental de Jalisco como un modelo replicable de conservación basada en el territorio.

Agradecimientos

Los autores agradecen la participación de todas las personas del Grupo Promotor Local en el Paisaje Biocultural, así como la asistencia a los dos talleres de trabajo realizados en el municipio de Mascota, los días 9 de febrero y 6 de abril de 2019. De manera especial, se reconoce la colaboración de Noe Castellanos Ramos, Claudio Fabricio Flores Morales y Nadezhda Martínez Cano.

Referencias

- Altesor, A., Barral, M. P., Booman, G., Carreño, L., Cristeche, E., Isacch, J. P., ... & Pérez, N. (2011). Servicios ecosistémicos: un marco conceptual en construcción. Aspectos conceptuales y operativos. En G. Booman & N. Pérez (Eds.), *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial* (pp. 645–657).
- Caro-Caro, C. I., & Torres-Mora, M. A. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia*, 19(2), 237–252.
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). (2013). Base de datos climatológicos históricos para México. Unidad de Ciencias de la Tierra, CICESE. <https://clima.cicese.mx>
- Cotler, H., Lara, J. A., Cram, S., Guevara, A., Galván, E. L., Ramírez, A., & Núñez, J. M. (2022). Assessment of unintended effects of ditches on ecosystem services provided by Iztacihuatl–Popocatepetl National Park, Mexico. *Acta Universitaria*, 32, e3638. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3638>
- Crouch, G. I. (1994). The study of international tourism demand: A survey of practice. *Journal of Travel Research*, 32(4), 41–55. <https://doi.org/10.1177/004728759403200408>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2024). Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera Sierra de Vallejo–Río Ameca. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5713962&fecha=08/01/2024
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ... & Chan, K. M. A. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270–272. <https://doi.org/10.1126/science.aap8826>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Ruiz, A. R. (2018). Biodiversidad, servicios ecosistémicos y el reto de la inclusión. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 79–88. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.72664>
- Spenceley, A. (2012). *Responsible tourism: Critical issues for conservation and development*. Routledge.
- Texas A&M AgriLife Research. (2019). SWAT: Soil and Water Assessment Tool – Climate Data Resources. Department of Ecosystem Science and Management, Texas A&M University. <https://swat.tamu.edu>
- UNEP-WCMC, IUCN, & NGS. (2018). Protected Planet Report 2018: Tracking progress towards global targets for protected areas. UNEP-WCMC. <https://livereport.protectedplanet.net>

CAPÍTULO DIEZ

ESTIMACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE COSTOS EVITADOS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS FEDERALES DE MÉXICO

Lic. Ángel Alexis Camacho Villaseñor¹

Lic. José Eulalio Castañeda Archundia²

Lic. Julio César Sánchez Chávez³

Resumen

Los ecosistemas en Áreas Naturales Protegidas (ANP) generan beneficios económicos que, aunque no se reflejan en mercados tradicionales, pueden cuantificarse mediante el método de costos evitados. Este estudio aplicó dicha metodología para tres casos de almacenamiento de carbono en: ecosistemas terrestres del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de San Miguelito; manglares de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an; y arrecifes del Parque Nacional Cabo Pulmo; y para el caso de los valores de existencia en la Reserva de la Biosfera Sierra Tecuani. Los resultados revelaron que en el APFF Sierra de San Miguelito se almacena 4.2 millones de toneladas de CO₂ equivalentes, que representan 4.6 mil millones de pesos en costos evitados por mitigación climática; para el caso de la RB Sian Ka'an, el almacenamiento de carbono equivalente en manglares asciende a 116 millones de toneladas con beneficios de 127.7 mil millones de pesos y para el PN Cabo Pulmo, se estima una captación de 6,588.38 toneladas anuales con beneficios de 7.2 millones de pesos. Asimismo, en la RB Sierra Tecuani se tiene un valor de existencia de 20.9 mil millones de pesos calculado mediante costos de restauración evitados. Estas cifras demuestran que conservar las ANP evita gastos futuros en mitigación y restauración, lo que libera recursos para otros fines. Se concluye que estos valores permiten abonar en la toma de decisiones en materia de impacto ambiental, regulación y abre la posibilidad de vincularlos con esquemas de financiamiento verdes. Este enfoque no solo valida la importancia de las ANP, sino que ofrece herramientas para alinear la gestión ambiental con metas nacionales e internacionales de sostenibilidad.

Palabras clave: costos evitados, valor de existencia, servicios ecosistémicos, estimación, áreas naturales protegidas.

Abstract

Ecosystems in Natural Protected Areas generate economic benefits that, although not reflected in traditional markets, can be quantified using the avoided cost method. This study applied this methodology to three carbon storage cases: terrestrial ecosystems in the Sierra de San Miguelito Flora and Fauna Protection Area; mangroves in the Sian Ka'an Biosphere Reserve; and reefs in Cabo Pulmo National Park; and to the case of existence values in the Sierra Tecuani Biosphere Reserve. The results revealed that 4.2 million tons of CO₂ equivalent are stored in the Sierra de San Miguelito Fauna and Flora Protection Area, representing 4.603 billion pesos in avoided costs through climate mitigation. In the case of the Sian Ka'an Biosphere Reserve, carbon equivalent storage in mangroves amounts to 116 million tons, with benefits of 127.7 billion pesos, and for the Cabo Pulmo National Park, an estimated capture of 6,588.38 tons annually is estimated, with benefits of 7.2 million pesos. Likewise, in the Sierra Tecuani Biosphere Reserve, the existing value of the mangroves is 20.9 billion pesos, calculated through avoided restoration costs. These figures demonstrate that conserving NPAs avoids future expenses on

1 Investigador del Centro de Economía y Prospectiva de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correo: alexcamvill@outlook.com

2 Director de Asuntos Institucionales en la Dirección General de Conservación de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Correo: jeulalio@conanp.gob.mx

3 Consultor del Proyecto UTF/MEX/154 Implementación y fortalecimiento de la gestión sostenible de Áreas Naturales Protegidas. Correo: Julio.SanchezChavez@fao.org

mitigation and restoration, which frees up resources for other fines. It is concluded that these values contribute to decision-making regarding environmental impact and regulation, and open the possibility of linking them with green financing schemes. This approach not only validates the importance of NPAs, but also offers tools to align environmental management with national and international sustainability goals.

Key words: avoided costs, existence value, ecosystem services, estimation, protected natural areas.

Introducción

Los servicios ecosistémicos, entendidos como los beneficios directos e indirectos que las personas obtienen de las funciones, estructura o procesos de los ecosistemas (Costanza et al., 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005), desempeñan un papel fundamental en el bienestar humano y la sostenibilidad económica. Sin embargo, su importancia no siempre se refleja en mecanismos de mercado, por lo que la relevancia de los ecosistemas es subestimada por el aparato económico.

Aunque los bienes ambientales no tengan valor de mercado, son susceptibles de ser medidos en términos monetarios debido a que pueden estar íntimamente relacionados con otros bienes o servicios que sí tienen un valor definido, ya sea porque se conforman en sustitutos de aquellos en una función de producción, o porque forman parte de la utilidad de las personas.

En este contexto, la valoración económica de servicios ecosistémicos surge como una herramienta clave para cuantificar los beneficios económicos directos de la preservación de los ecosistemas. El valor de existencia de un ecosistema puede entenderse desde la perspectiva de los costos y esfuerzos que se evitarían si el ecosistema se mantiene en buen estado, frente a las acciones y gastos necesarios para recuperarlo si se degrada. En otras palabras, su valor se refleja en las inversiones en restauración que la sociedad se ahorra si el ecosistema se conserva.

En este sentido, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) ha desarrollado una metodología estandarizada basada en el método de costos evitados. Este método es utilizado para medir los gastos en que incurrirían los agentes económicos para reducir o evitar los efectos ambientales no deseados cuando los bienes o servicios son sustitutos.

Dado que las áreas naturales protegidas federales son las zonas del territorio nacional en que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que sus ecosistemas y funciones integrales requieren ser preservadas y restauradas, constituyen campos de análisis de relevancia para el reconocimiento y medición de sus servicios ecosistémicos.

En el contexto actual de emergencia climática en el que México, como signatario del Acuerdo de París y en cumplimiento de sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), ha establecido metas concretas para mitigar el cambio climático como reducir un 35% sus emisiones de GEI para 2030, con la finalidad limitar el aumento de la temperatura media por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitarlo a 1.5°C (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, 2021; United Nations Climate Challenge, 2025), la preservación de los ecosistemas que almacenan carbono surge como una medida de relevancia para abonar en los esfuerzos nacionales e internacionales contra el cambio climático.

Por lo anterior, la conservación de áreas naturales es una estrategia clave para la captura de carbono y la adaptación al cambio climático, integrando además la valoración económica de los servicios ecosistémicos en la política ambiental del país.

Con tales fines, en el presente trabajo se analizan cuatro casos de estudio donde se aplica la metodología de costos evitados:

- Los primeros tres casos de estudio corresponden al almacenamiento de carbono de los ecosistemas presentes en tres áreas naturales protegidas (ANP); este enfoque toma como referencia los costos sociales asociados al daño económico que causa una tonelada adicional de emisiones que se evitan gracias a la capacidad de captura y almacenamiento de carbono de estos ecosistemas. Para ello, se analizan tres tipos de ecosistemas: terrestre, aplicado al Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de San Miguelito, en el estado de San Luis Potosí; manglar, a través de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, en el estado de Quintana Roo; y zonas arrecifales, en el Parque Nacional Cabo Pulmo, en el estado de Baja California Sur.
- El cuarto caso, analiza los valores de existencia y los costos para la compensación ambiental en caso de cambio de uso de suelo de estos ecosistemas, asociados a las actividades requeridas para la reforestación, restauración y su

mantenimiento. Estos costos consideran la adquisición de insumos, así como los rendimientos de mano de obra, maquinaria y demás conceptos asociados a la ejecución de estos procesos. Este análisis se aplica a la Reserva de la Biosfera Sierra Tecuani, en el estado de Guerrero.

Metodología

El método de costos evitados parte de un principio fundamental: valorar económicamente un servicio ecosistémico mediante la cuantificación de los gastos que la sociedad tendría que asumir si el ecosistema no existiera y, por ende, este servicio no se proveyera (Ministerio del Ambiente, 2015; Costanza, 2024). En su aplicación convencional, este método evalúa escenarios donde la ausencia de protección ambiental generaría daños materiales cuantificables. Esta metodología se estructura en tres fases definidas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003):

1. Identificación del servicio ambiental proporcionado;
2. Estimación del servicio ambiental proporcionado o daño potencial evitado; y
3. Valoración económica del servicio ambiental proporcionado.

Esta metodología tiene como objetivo principal cuantificar el valor económico de los servicios ecosistémicos que brindan las ANP, mediante la aplicación del método de costos evitados. Con ello, se busca:

- Estimar los costos sociales evitados al preservar los ecosistemas de las ANP, evitando las implicaciones negativas que traen consigo su modificación o alteración, por cambios de uso de suelo principalmente;
- Validar económicamente la importancia de las ANP; y
- Generar insumos técnicos para la toma de decisiones en materia de conservación, el diseño de instrumentos de política ambiental, y el cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales de México.

RESULTADOS

I. CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO Y MITIGACIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN EL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA SIERRA DE SAN MIGUELITO.

La Sierra de San Miguelito ha sido reconocida por tener una gran importancia ecológica debido a su relativo buen estado de conservación, la alta diversidad biológica que alberga y por suministrar servicios ambientales como captura de carbono, mitigación de los efectos del cambio climático, zona de recarga e infiltración de agua, retención de suelo, prevención de inundaciones, hábitat de especies, entre otros. Aunado al valor biológico que posee, esta área opera como eje rector del desarrollo sustentable de las poblaciones humanas que habitan en la zona circundante (Koleff et al., 2009; IPICYT y SEGAM, 2018).

La vegetación presente es propia de climas áridos, con dominancia de bosques semiáridos de pino piñonero (*Pinus cembroides*), encino (*Quercus potosina*), matorrales xerófilos y pastizales naturales (CONANP, 2024).

Los ecosistemas en buen estado de conservación presentes en la zona son de gran importancia para la conservación de la diversidad biológica, su continuidad espacial y temporal, el desarrollo de sus poblaciones, así como de los procesos ecológicos y biológicos que suceden en estos ecosistemas (Benítez-Díaz y Bellot-Rojas, 2003; Arriaga et al., 2009).

En tal sentido, la conservación de los ecosistemas del Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Sierra de San Miguelito desempeña un papel fundamental en la estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático, ya que con ello se garantiza la permanencia de estos sumideros de carbono y brinda beneficios ecológicos y socioeconómicos asociados. En contraste, las afectaciones sobre sus ecosistemas generarían costos en términos de la emisión de carbono equivalente que tendrán que ser absorbidos por la sociedad.

Datos y estimación

1. Identificación del servicio ambiental proporcionado en el APFF Sierra de San Miguelito

La primera fase de la metodología consiste en identificar el servicio ambiental proporcionado, el cual para este caso de análisis será la captura y almacenamiento de carbono que brindan los ecosistemas del APFF Sierra de San Miguelito.

2. Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en el APFF Sierra de San Miguelito

Para estimar con precisión el servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono que brindan los ecosistemas del APFF Sierra de San Miguelito se emplea lo siguiente:

- Datos de la captación de carbono promedio por tipo de vegetación del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2020);
- Cartografía de uso de suelo y vegetación de la Serie VII del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021), que permite estratificar las áreas de estudio; y
- Factor de conversión para transformar la captura de la biomasa en carbono equivalente. El carbono almacenado total en biomasa (c) se multiplicó por el factor 3.67, constante química que convierte carbono a CO₂ equivalente, según Carbajal y colaboradores (2017).

Fórmula: CO₂ equivalente = Carbono almacenado total (ton) × 3.67

De este modo se estima que los ecosistemas del **APFF Sierra de San Miguelito almacenan un total de 4 millones 187 mil 341.42 toneladas de CO₂ equivalente.**

Tabla 1. Captura de carbono de la vegetación del APFF Sierra de San Miguelito.

Uso de suelo y vegetación	1/ a) Superficie (ha)	2/ b) Carbono/ha 2015-2020 (toneladas)	c) Carbono almacenado total (toneladas CO ₂) c = (a*b)	d) Carbono atmosférico total (toneladas de CO ₂ e) d = (c*3.67)
Pastizal natural	37,461.99	4.23	158,464.22	581,563.67
Bosque de pino	22,389.49	28.07	628,473.11	2,306,496.30
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	17,590.08	12.7	223,393.97	819,855.89
Matorral crasicaule	8,209.35	1.47	12,067.74	44,288.62
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	7,319.13	5.75	42,085.01	154,452.00
Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural	4,336.54	0.96	4,163.08	15,278.50
Vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule	3,636.93	0.27	981.97	3,603.84
Pastizal inducido	3,509.72	4.23	14,846.12	54,485.27
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	2,408.32	10.26	24,709.39	90,683.47
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	1,914.61	12.7	24,315.59	89,238.20
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	366.90	10.26	3,764.36	13,815.20
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	226.49	10.26	2,323.83	8,528.44
Matorral desértico micrófilo	212.37	1.47	312.18	1,145.71

Bosque de encino	57.64	17.09	985.12	3,615.40
Mezquital xerófilo	53.58	1.47	78.76	289.05
Vegetación secundaria arbustiva de mezquital xerófilo	1.87	0.27	0.51	1.86
Vegetación secundaria arbustiva de matorral desértico micrófilo	0.00	0.27	0.00	0.00
Agricultura de temporal anual	842.84	No aplica		
Cuerpo de agua	403.54	No aplica		
Agricultura de temporal anual y permanente	124.30	No aplica		
Asentamientos humanos	51.26	No aplica		
Agricultura de temporal permanente	3.03	No aplica		
Agricultura de riego anual	0.00	No aplica		
Total	111,120.01	Almacenamiento total (toneladas)	1,140,964.96	4,187,341.42

^{1/} INEGI (2021).

^{2/} CONAFOR (2020).

Nota: para la estimación, se omite la superficie (ha) que no cuenta con una cubierta de vegetación.

Fuente: elaboración propia con datos del INFyS 2015-2020 (CONAFOR, 2020).

3. Valoración económica de la captura y almacenamiento de carbono en el APFF Sierra de San Miguelito

Bajo la lógica de la metodología de costos evitados, en caso de que los ecosistemas del APFF Sierra de San Miguelito se vieran vulnerados por actividades de cambio de uso de suelo, el carbono que actualmente se encuentra almacenado en sus coberturas vegetales se perdería, por lo que la sociedad incurriría en costos de mitigación proporcionales a la cantidad de carbono equivalente perdido. De esta manera, es posible cuantificar los beneficios económicos que provee el servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono de los ecosistemas del APFF Sierra de San Miguelito mediante la estimación de los costos por medidas de mitigación del cambio climático asociados a las toneladas de carbono equivalente almacenadas en el ANP.

A modo de cuantificar lo anterior, el Fondo Monetario Internacional (FMI, 2022) estimó que para cumplir la meta establecida en los Acuerdos de París de mantener el incremento en la temperatura del planeta por debajo de 2° C para 2030, los países de ingreso medio como México deberían imponer **un precio global del carbono de 50 dólares por tonelada de CO₂ equivalente**. Con el fin de actualizar el precio establecido por el FMI a valor presente se realiza lo siguiente:

- Se retoma el tipo de cambio promedio para el año 2022 que, de acuerdo con información de Banxico (2025), corresponde a 20.1193 pesos por dólar, por lo que el monto de carbono por tonelada a precios de 2022 es de **1,005.96 pesos**.
- A este monto se le incorpora el factor de inflación de enero de 2023 a marzo de 2025 que, conforme a la calculadora de inflación del INEGI (2025), corresponde a 9.29 %, por lo que el precio a valor presente es de **1,099.41 pesos**.

En este sentido, dado que el precio por tonelada de CO₂ equivalente es de 1,099.41 pesos y que el APFF Sierra de San Miguelito almacena 4 millones 187 mil 341.42 toneladas de CO₂ equivalente, el beneficio total asociado a la captación de carbono en el APFF SSM se estima en 4 mil 603 millones 605 mil 49.04 pesos (Tabla 2).

Tabla 2. Beneficio atribuible al APFF Sierra de San Miguelito en términos de captura y almacenamiento de carbono.

Concepto	Monto
a) Toneladas de CO ₂ almacenado atribuible al esquema de conservación de ANP	4,187,341.42
b) Costo Social del Carbono (dólares por ton)	\$50.00
c) Promedio tipo de cambio FIX 2022 (pesos por dólar)	\$20.1193
d) Costo Social del Carbono (pesos por ton)	\$1,005.96
e) Inflación enero 2023 – marzo 2025	9.29%
f) Costo social de carbono a valor presente $f = d*(1+e) = \$1,005.96*(1+0.0929)$	\$1,099.41
Beneficio atribuible (a*f)	\$4,603,605,029.04

Fuente: elaboración propia.

Dado que el ANP se encuentra sujeta a dinámica de actividades que presionan el cambio de uso de suelo (CONANP, 2024), existe el riesgo de que el carbono almacenado en sus ecosistemas se libere a la atmósfera, resultando en costos que serían absorbidos por la sociedad. En contraste, con la preservación y protección de sus ecosistemas, estos costos se convierten en beneficios sociales, en términos de la contención al cambio climático y los costos evitados en los que ya no se tendrían que incurrir asociados a ello.

II. CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO AZUL COMO MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE GEI EN LA RB SIAN KA'AN.

Los humedales costeros, en particular los manglares, brindan una gran variedad de servicios ambientales: son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, por lo que sostienen gran parte de la producción pesquera, poseen un alto valor estético y recreativo, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico, contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales a respuesta de los cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y sirven de refugio y fauna silvestre, entre otros (CONABIO, 2021)

Los manglares de México representan el 6% del total mundial y colocan a nuestro país en el cuarto lugar de los países que poseen este ecosistema, tan solo por debajo de Indonesia, Australia y Brasil (Simard, 2019)

Los principales servicios ecosistémicos de los manglares son:

- **Servicios de provisión:** A través de su función de producción primaria y secundaria, los manglares generan y proveen de recursos para los medios de vida locales y para los sectores productivos contribuyendo a reducir los niveles de vulnerabilidad de las comunidades aledañas.
- **Servicios de regulación:** A través de su función hidrológica, los humedales costeros contribuyen a regular el flujo de sedimentos y el agua (entre los acuíferos y mantos freáticos) purificarla y enfrentar amenazas naturales. Asimismo, con su función de estabilización costera se reduce la exposición de las comunidades ante las amenazas generadas por eventos hidrometeorológicos. Así como de su función de regulación del clima que genera los beneficios del microclima además de su enorme capacidad de captura de carbono contribuyente a la mitigación del cambio climático, y por ende al mantenimiento de las capacidades de adaptación.
- **Servicios de soporte:** Aseguran el funcionamiento del ecosistema de manglar, como lo es la biodiversidad y el hábitat que brindan a las especies que se encuentran en el sitio; forman parte del equilibrio ecológico que permite el mantenimiento de especies para el uso alimentario o de valor comercial. Son partícipes en el ciclo de nutrientes ya que almacenan, reciclan, procesan y de

ellos pueden obtener nutrientes que aportan a la salud del ecosistema, así como la retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica que ayuda a mantener la estructura física de los ecosistemas (CONABIO, 2017).

Los ecosistemas costeros dominados por plantas (como los manglares, las marismas y las praderas marinas) desempeñan un papel fundamental en el secuestro global de carbono que, de otro modo, permanecería como CO₂ atmosférico y exacerbaría el cambio climático (Laffoley y Grimsditch, 2009; Kennedy et al, 2010). El carbono presente en la biomasa viva (hojas, ramas, tallos y raíces), y en el suelo de ecosistemas marino-costeros como manglares, pastizales marinos y humedales costeros se define como carbono azul, por su conexión con cuerpos de agua (SIMAR, 2023).

Estos ecosistemas secuestran carbono dentro de sus sedimentos subyacentes, dentro de la biomasa viva sobre el suelo (hojas, tallos, ramas) y bajo tierra (raíces), y dentro de la biomasa no viva (por ejemplo, hojarasca y madera muerta). El carbono azul se secuestra a corto plazo (decenas de años) en la biomasa y a largo plazo (miles de años) en los sedimentos (Duarte et al. 2005; Lo Iacono et al. 2008). La mayor parte del carbono capturado se almacena en suelos y sedimentos, lo que da lugar a una acumulación de carbono a largo plazo (Windham-Myers et al., 2019, Chmura et al., 2003). A diferencia de los suelos terrestres, los sedimentos en los que crecen los manglares, marismas y praderas marinas saludables no se saturan con carbono porque los sedimentos se acumulan verticalmente en respuesta al aumento del nivel del mar, suponiendo que se mantenga la salud del ecosistema (McKee et al. 2007). Por lo tanto, la tasa de secuestro de carbono en los sedimentos y el tamaño del sumidero de carbono en los sedimentos pueden continuar aumentando con el tiempo (Chmura et al. 2003).

Concretamente, los humedales costeros constituyen un sumidero de carbono constante y potente, donde las tasas de absorción de carbono en los sedimentos son hasta 55 veces más rápidas que las de las selvas tropicales (McLeod et al., 2011). Esta absorción de carbono ayuda a contrarrestar las emisiones humanas de gases de efecto invernadero, por lo que los ecosistemas de carbono azul desempeñan un papel importante en la mitigación del cambio climático. Además, los ecosistemas de carbono azul aportan otros beneficios ecosistémicos importantes para el bienestar humano, como la protección de las costas contra tormentas e inundaciones, la protección de la calidad del agua, el apoyo a la biodiversidad, alimentos para apoyar los medios de subsistencia sostenibles, y sitios de reproducción para muchas especies de vida marina (Convención sobre los Humedales, 2021).

La complejidad estructural de los ecosistemas costeros con vegetación (sistemas de raíces, vegetación densa, dosel frondoso en sistemas de pastos marinos) hace que las marismas, los bosques de manglares y los lechos de pastos marinos sean altamente eficientes para atrapar sedimentos y carbono orgánico asociado provenientes de fuentes fluviales y oceánicas internas y externas.

Cabe señalar que existen dos tipos de carbono azul:

- Carbono proveniente de fuentes internas (autóctono): La materia orgánica se produce y deposita en un mismo lugar. Las plantas eliminan el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera/océano a través de la fotosíntesis (producción primaria) y lo convierten para su utilización por los tejidos vegetales para aumentar la biomasa vegetal. Una gran parte de la biomasa vegetal se asigna a las raíces, donde se descompone muy lentamente en condiciones anaeróbicas, almacenando así carbono en los sedimentos.
- Carbono proveniente de fuentes externas (alóctono): La materia orgánica se produce en un lugar y se deposita en otro. Los ecosistemas de carbono azul existen en entornos hidrodinámicamente muy activos; son golpeados constantemente por olas, mareas y corrientes costeras que transportan sedimentos y el carbono orgánico asociado de los ecosistemas adyacentes (en alta mar o terrestres). Las plantas que se encuentran en estos sistemas tienen estructuras de raíces y copas muy eficientes para atrapar los sedimentos, que se añaden a las reservas locales de carbono.

Debido a que los ecosistemas costeros con vegetación pueden secuestrar carbono de ambas fuentes, representan un sumidero de carbono para un área más grande (McLeod et al, 2011).

La protección y restauración de los ecosistemas de carbono azul son esenciales para la salud del planeta. Sin embargo, estos son algunos de los ecosistemas más amenazados de la tierra, con un estimado de 340,000 a 980,000 hectáreas destruidas cada año. Los manglares, las marismas saladas y los pastizales marinos se encuentran bajo altos niveles de presión por el desarrollo costero y el cambio de uso de la tierra. Cuando se elimina

la vegetación y la tierra se drena o se draga, los sedimentos quedan expuestos a la atmósfera o a la columna de agua, y el carbono almacenado en el sedimento se une con el oxígeno del aire formando CO₂ y otros gases, que se liberan a la atmósfera y al océano (Howard et al. 2014).

La región de Sian Ka'an comprende muestras de dimensiones considerables de buena parte de los ecosistemas característicos de la Península de Yucatán, que incluyen selvas medianas subperennifolias, selvas inundables, petenes, manglares, humedales, cenotes, dunas costeras y arrecifes de coral. La sola diversidad de paisajes, que entraña la presencia de algunos tipos de comunidades biológicas que solamente se encuentran en esta zona de nuestro país, en la Península de Florida y en alguna otra isla del Mar Caribe, además de la presencia de un número importante de especies endémicas, amenazadas o en peligro de extinción, hacen que esta porción de México represente un compromiso importante y un reto ineludible de conservación y manejo de recursos naturales (CONANP, 2015).

Datos y estimación

1. Identificación del servicio ambiental proporcionado en la RB Sian Ka'an

La primera fase de la metodología consiste en identificar el servicio ambiental proporcionado, el cual para este caso de análisis será la captura y almacenamiento de carbono que brinda el ecosistema de manglar en la RB Sian Ka'an.

2. Estimación de la captura y almacenamiento de carbono azul en la RB Sian Ka'an

Para estimar con precisión el servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono que brinda la RB Sian Ka'an se emplea lo siguiente:

- Valores promedio de almacenamiento de carbono promedio por ecosistema de manglar, marismas y pastos marinos mediante estimaciones realizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2019);
- Cartografía de uso de suelo y vegetación de la Serie VII del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021), que permite estratificar las áreas de estudio; y
- 4. Factor de conversión para transformar la captura de la biomasa en carbono equivalente. El carbono almacenado total en biomasa (c) se multiplicó por el factor 3.67, constante química que convierte carbono a CO₂ equivalente, según Carbajal et al. (2017).

$$\text{Fórmula: CO}_2 \text{ equivalente} = \text{Carbono almacenado total (ton)} \times 3.67$$

De este modo se estima que **el manglar de la RB Sian Ka'an almacena un total de 116 millones 153 mil 41.89 toneladas de CO₂ equivalente.**

Tabla 3. Captura de carbono de la vegetación de la RB Sian Ka'an.

Uso de suelo y vegetación	1/ a) Superficie (ha)	2/ b) Carbono/ha 2015-2020 (ton)	c) Carbono almacenado total (toneladas CO ₂) c = a*b	d) Carbono atmosférico total (toneladas de CO ₂ e) d = c*3.67
Manglar	81,945.35	386	31,630,904.59	116,085,419.83
Vegetación secundaria arbustiva de manglar	335.01	55	18,425.63	67,622.06
Total	82,280.36	Almacenamiento total (toneladas)	31,649,330.22	116,153,041.89

^{1/} INEGI (2021).

^{2/} UNESCO (2019).

Fuente: elaboración propia con datos de la UNESCO (2019).

3. Valoración económica de la captura y almacenamiento de carbono en la RB Sian Ka'an

Bajo la lógica de la metodología de costos evitados, en caso de que los ecosistemas de manglar de la RB Sian Ka'an se vieran vulnerados por actividades de cambio de uso de suelo, el carbono que actualmente se encuentra almacenado en sus coberturas vegetales se perdería, por lo que la sociedad incurriría en costos de mitigación proporcionales a la cantidad de carbono equivalente perdido.

En este sentido, retomando un precio de 1,099.41 pesos por tonelada de CO₂ equivalente y considerando que la RB Sian Ka'an almacena 116 millones 153 mil 41.89 toneladas de CO₂ equivalente, el beneficio total asociado al almacenamiento de carbono en la RB Sian Ka'an se estima en 127 mil 699 millones 815 mil 785.13 pesos, según la siguiente tabla:

Tabla 4. Beneficio atribuible a la RB Sian Ka'an en términos de almacenamiento de carbono azul.

Concepto	Monto
a) Toneladas de CO ₂ almacenado atribuible al esquema de conservación de ANP	116,153,041.89
b) Costo Social del Carbono (dólares por ton)	\$50.00
c) Promedio tipo de cambio FIX 2022 (pesos por dólar)	\$20.1193
d) Costo Social del Carbono (pesos por ton)	\$1,005.96
e) Inflación enero 2023 – marzo 2025	9.29%
f) Costo social de carbono a valor presente $f = d * (1 + e) = \$1,005.96 * (1 + 0.0929)$	\$1,099.41
Beneficio atribuible (a*f)	\$127,699,815,785.13

Fuente: elaboración propia.

III. CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO AZUL Y MITIGACIÓN DE GEI EN EL PARQUE NACIONAL CABO PULMO.

El Parque Nacional (PN) Cabo Pulmo contiene el único ecosistema de arrecife coralino en el Golfo de California. Por su ubicación geográfica, es el arrecife de coral más septentrional del Pacífico Oriental, además de uno de los más longevos del Pacífico americano, por su antigüedad estimada en 20 mil años (Pronatura Noroeste, 2025).

Estos ecosistemas arrecifales actúan como sumideros de carbono, ya que el carbono del aire se disuelve en el océano como dióxido de carbono. Allí, se transforma en diferentes compuestos, como bicarbonato y carbonato. Los organismos marinos, como los corales y moluscos, usan el carbonato que hay en el agua para formar estructuras de carbonato de calcio. Así, el carbono que estaba en la atmósfera termina convertido en estructuras sólidas en el océano, como los arrecifes.

El coral que forma parte del arrecife del PN Cabo Pulmo tiene una extensión de 2.2 millones de m². Su tasa de depósito de carbono, producto del crecimiento coralino del arrecife, representa un servicio ecosistémico importante y su valor puede estimarse tomando en cuenta la velocidad de acumulación del carbonato de calcio (CaCO₃) biogénico por unidad de área en un período de tiempo determinado.

Datos y estimación

1. Identificación del servicio ambiental proporcionado en el PN Cabo Pulmo

La primera fase de la metodología consiste en identificar el servicio ambiental proporcionado, el cual para este caso de análisis será la captura y almacenamiento de carbono que brinda el arrecife de coral del PN Cabo Pulmo.

2. Estimación de la captura y almacenamiento de carbono en el arrecife de coral del PN Cabo Pulmo

Para estimar con precisión el servicio ambiental de captura y almacenamiento de carbono que brinda el arrecife de coral del PN Cabo Pulmo se emplea lo siguiente:

- Reyes Bonilla (2014) estimó la producción de carbonato de calcio biogénico que proviene del secuestro de carbono por el proceso de calcificación en el PN Cabo Pulmo, la cual es de 6.80 kg CaCO₃ por m² al año.⁴ De esta manera, se estima que los 2.2 millones de m² de coral que forman el arrecife del Parque Nacional Cabo Pulmo secuestran 14,960 toneladas de carbonato de calcio al año;
- No obstante, 1 tonelada de CaCO₃ contiene aproximadamente 0.12 toneladas de carbono⁵, por lo tanto, la captura total de carbono por parte de los arrecifes de coral del PN Cabo Pulmo es de 1,795.20 toneladas anuales; y

⁴ Esta captura se atribuye principalmente al efecto de la dominancia del género Pocillopora (Reyes Bonilla, 2014).

⁵ La masa molar del carbonato de calcio es de 100.0869 gramos, mientras que la del carbono es de 12.0107 gramos. Por lo tanto, la masa molar del carbono corresponde al 12 % de la masa molar del carbonato de calcio (Chemical Portal, 2024).

- Finalmente, a este indicador de carbono almacenado se le aplica el factor de conversión para transformar la captura de la biomasa en carbono equivalente. El carbono almacenado total en biomasa (c) se multiplicó por el factor 3.67, constante química que convierte carbono a CO₂ equivalente, según Carbajal et al. (2017).

$$\text{Fórmula: CO}_2 \text{ equivalente} = \text{Carbono almacenado total (ton)} \times 3.67$$

De este modo se estima que el **PN Cabo Pulmo tiene un potencial de captura de carbono atmosférico de 6,588.38 toneladas anuales.**

3. Valoración económica de la captura y almacenamiento de carbono en el arrecife de coral del PN Cabo Pulmo

- Precio de referencia del carbono: A modo de cuantificar lo anterior, el Fondo Monetario Internacional (FMI, 2022) estimó que para cumplir la meta de mantener el incremento en la temperatura del planeta por debajo de 2° C para 2030, los países deberían imponer **un precio global del carbono de 50 dólares por tonelada de CO₂ equivalente.**
- Actualización monetaria: Con el fin de actualizar el precio establecido por el FMI a valor presente, se utiliza el tipo de cambio promedio para el año 2022 que, de acuerdo con información de Banxico (2025), corresponde a 20.1193 pesos por dólar, por lo que el monto de carbono por tonelada a precios de 2022 es de **1,005.96 pesos.** A este monto se le incorpora el factor de inflación de enero de 2023 a marzo de 2025 que, conforme a la calculadora de inflación del INEGI (2025), corresponde a 9.29 %, por lo que el precio a valor presente es de **1,099.41 pesos.**
- Beneficio económico total: En este sentido, retomando un precio de **1,099.41 pesos** por tonelada de CO₂ equivalente y considerando que el arrecife de coral del PN Cabo Pulmo almacena **6 mil 588.38** toneladas de CO₂ equivalente, el beneficio total asociado a la captación de carbono se estima en **7 millones 243 mil 330.85 pesos**, según la siguiente tabla:

IV. VALORES DE EXISTENCIA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIERRA TECUANI: COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR CAMBIO DE USO DE SUELO.

En México, la Reserva de la Biosfera (RB) Sierra Tecuani emerge como un tesoro natural de magnitud indiscutible, encerrando en su extenso territorio una amalgama de ecosistemas que revisten una importancia ecológica inestimable. Entre la diversidad de ecosistemas que alberga destacan el bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque mesófilo de montaña y selvas secas (CONANP, 2023).

En tal sentido, el valor de existencia de los ecosistemas de la RB Sierra Tecuani puede estimarse mediante los costos evitados en escenarios de degradación, donde la conservación previene erogaciones futuras vinculadas a la reforestación, restauración y mantenimiento de áreas afectadas.

Datos y estimación

1. Identificación del servicio ambiental proporcionado en la RB Sierra Tecuani

La primera fase de la metodología consiste en identificar el servicio ambiental proporcionado, el cual para este caso de análisis será el valor de existencia de la diversidad de ecosistemas presentes en RB Sierra Tecuani.

2. Estimación de los valores de existencia en la RB Sierra Tecuani

Uno de los beneficios por la protección de los ecosistemas del ANP deriva de los costos evitados por concepto de reforestación, restauración y mantenimiento de los ecosistemas, es decir, del costo que se necesitaría para regresar al ecosistema a su funcionalidad en caso de algún tipo de perturbación, lo que da una aproximación de sus valores de existencia.

En tal sentido, se emplea lo siguiente:

- Cartografía de uso de suelo y vegetación de la Serie VII del INEGI (2021), que permite estratificar las áreas de estudio; y

- “Acuerdo mediante el cual se expiden los costos de referencia para la compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación” publicado en el DOF el 08 de marzo de 2023, que presenta una clasificación de los tipos de vegetación en zonas ecológicas con sus respectivos costos de referencia por hectárea, establecidos para fines de compensación ambiental. Los valores económicos asociados a cada categoría reflejan los costos estimados para su restauración ecológica, conforme a la normativa vigente en materia forestal (DOF, 2023).

Con base en esta información, es posible identificar los tipos de vegetación que hay dentro de la RB Sierra Tecuani y su zona ecológica asociada, conforme a la siguiente tabla:

Tabla 5. Zonas ecológicas asociadas al tipo de vegetación dentro de RB Sierra Tecuani.

Uso de suelo y vegetación	Superficie	Zona ecológica
Bosque de pino-encino	57,481.64	Templada
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino-encino	28,522.93	
Bosque de encino	28,326.03	
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	25,859.03	
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	24,949.10	
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	22,013.76	
Bosque de encino-pino	20,222.04	
Bosque mesófilo de montaña	18,706.11	
Bosque de pino	11,393.95	
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino-pino	5,964.77	
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	5,460.62	
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	3,904.53	
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	3,842.97	
Vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña	3,163.26	
Vegetación secundaria herbácea de bosque de pino-encino	914.29	
Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino	725.59	
Vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo de montaña	244.97	
Pastizal inducido	25,630.28	Tropical
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	24,527.05	
Pastizal cultivado	12,170.60	
Selva baja caducifolia	9,422.77	
Selva mediana subcaducifolia	7,544.68	
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	5,243.89	
Vegetación secundaria arbórea de selva mediana subcaducifolia	2,352.00	
Vegetación secundaria arbustiva de selva mediana subcaducifolia	254.19	
Bosque de galería	569.71	Humedales
Vegetación secundaria arbórea de bosque de galería	130.98	
Total	349,541.74	

Fuente: elaboración propia, con base en DOF (2023).

3. Valoración económica de los valores de existencia en la RB Sierra Tecuani

Precio de referencia: En tal sentido, conforme al Acuerdo referido previamente, el costo de referencia para actividades de reforestación o restauración y su mantenimiento por concepto de compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales para la zona ecológica **“templada” es de 58 mil 647.44 pesos por hectárea**, mientras que para la zona ecológica **“tropical” es de 44 mil 382.98 pesos por hectárea**, y finalmente, para la zona ecológica **“humedales” es de 76 mil 880.00 pesos por hectárea**.

- Actualización monetaria: Conforme al artículo 3 del citado Acuerdo, la actualización de los costos de referencia se debe realizar por el aumento con base en la calculadora de inflación del INEGI de enero a enero del año correspondiente. En tal sentido, la inflación acumulada de enero de 2023 a enero de 2025 fue de 8.64 % (INEGI, 2025), por lo que se actualizó el costo de referencia con base en la inflación del periodo indicado, para cada una de las zonas ecológicas contempladas.
- Beneficio económico total: El resultado se multiplicó por el número de las hectáreas consideradas dentro de la RB Sierra Tecuani y finalmente, se obtuvo la sumatoria de los costos totales de cada zona ecológica. Con lo cual se estima que el valor de existencia o costos evitados de los ecosistemas en la RB Sierra Tecuani generan un beneficio social de 20 mil 934 millones 296 mil 790.45 pesos conforme a la siguiente tabla:

Tabla 6. Beneficios por concepto de valores de existencia o costos evitados en la RB Sierra Tecuani.

Beneficio por concepto de valores de existencia o costos evitados en la RB Sierra Tecuani			
Zona ecológica	i) Templada	ii) Tropical	iii) Humedales
a) Costo de recuperación por hectárea	\$58,647.44	\$44,382.98	\$76,880.00
b) Inflación enero 2023 – enero 2025	8.64%		
c) Costo actualizado ($a \cdot (1+b)$) ci = $\$58,647.44 \cdot (1+0.0864)$ cii = $\$44,382.98 \cdot (1+0.0864)$ ciii = $\$76,880 \cdot (1+0.0864)$	\$63,714.57	\$48,217.66	\$83,522.43
d) Superficie al interior del ANP	261,695.61	87,145.46	700.69
e) Costo de restauración ($c \cdot d$) ei = $ci \cdot di = \$63,714.57 \cdot 261,695.61$ eii = $cii \cdot dii = \$48,217.66 \cdot 87,145.46$ eiii = $ciii \cdot diii = \$83,522.43 \cdot 700.69$	\$16,673,823,438.71	\$4,201,950,170.61	\$58,523,181.13
Beneficio total	20,934,296,790.45		

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La estimación de servicios ecosistémicos (SE) en áreas naturales protegidas mediante el método de costos evitados proporciona una base cuantitativa fundamental para comprender el valor económico de estos ecosistemas y el papel estratégico que desempeñan en el bienestar socioambiental del país. Este enfoque, permite medir los gastos que la sociedad evita al conservar las ANP, calculando los costos que se incurrirían si los servicios proporcionados tuvieran que ser sustituidos por soluciones antropogénicas. Sin embargo, estas valoraciones no deben quedarse en ejercicios técnicos aislados; es fundamental traducir estos hallazgos en acciones concretas de política pública.

En este sentido, la cuantificación de SE constituye un insumo técnico clave para la toma de decisiones en materia de gestión y conservación, pues permite contar con valores económicos que pueden ser contrastados con la actividad económica presente y futura.

Estas valoraciones permiten establecer umbrales operativos basados en evidencia concreta, transformando los beneficios ecosistémicos en variables tangibles que pueden integrarse directamente en los modelos de política pública.

Concretamente, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2025-2030, en su Eje General 4 “Desarrollo Sustentable”, plantea como prioridad la transición energética, la reforestación, el reciclaje de residuos y el fortalecimiento de áreas naturales protegidas como pilares del bienestar intergeneracional, mediante la implementación de esquemas efectivos de protección, conservación y gobernanza ambiental. Para alinear los resultados de esta estimación de SE de las ANP con este marco, se recomienda:

1. Vincular las valoraciones de SE con instrumentos económicos derivados de los sistemas de planeación, financiamiento y presupuesto público:
 - PSA basados en el valor real de los SE identificados y diseño de esquemas de financiamiento alternativos que tomen como garantía el valor del capital natural de los ecosistemas preservados.
 - Asignación de presupuesto en función de los SE que brindan las ANP.
2. Implementar evaluaciones intertemporales de políticas y programas ambientales existentes, utilizando las valorizaciones como línea base para medir el impacto real sobre la provisión de SE y ajustar dichas políticas y programas, en caso de requerirse.
3. Promover la incorporación de los valores ecosistémicos en los mecanismos de ordenamiento territorial y evaluación ambiental estratégica, lo que abona a la toma de decisiones sostenibles en proyectos de infraestructura.
4. Utilizar los valores económicos calculados para la toma de decisiones en materia de impacto ambiental y regulatorio, así como para fortalecer los valores de conservación de los sitios de relevancia ambiental.

Determinar los beneficios de los ecosistemas sobre la sociedad en términos monetarios cuenta con complejidades pues todos los elementos del ecosistema se encuentran interrelacionados y sus beneficios exceden el ámbito de lo económico. Sin embargo, el desarrollo de metodologías que permitan aproximar dichos beneficios coadyuve en la toma de decisiones a distintos niveles y, por ende, proporciona herramientas para sustentar protección, preservación y restauración de los ecosistemas.

Referencias

- Arriaga-Cabrera, L., V. Aguilar y J. M. Espinoza. 2009. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. Capital Natural de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Banxico. 2025. Tipo de cambio promedio del periodo – (CF86). Tipo de cambio para solventar obligaciones pagaderas en moneda extranjera-Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF86&locale=es>. Fecha de consulta: 04 de marzo de 2025.
- Benítez-Díaz, H. y M. Bellot-Rojas. 2003. Biodiversidad: uso, amenazas y conservación. En: Sánchez, O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy-Vilchis (Eds.). Conservación de Ecosistemas de Templados de Montaña en México. Instituto Nacional de Ecología. México.
- Carbajal, J., Rodríguez, A., Ávila, L., Rodríguez, A. y Hernández, H. 2017. Captura de carbono por una fachada vegetada. *Acta Universitaria*. 27 (5). Pp. 55-61
- Chemical Portal. 2024. Molar Mass, Molecular Weight and Elemental Composition Calculator. Disponible en: <https://www.webqc.org/mmmcalc.php>. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2025.
- Chmura, G.L., Anisfeld, S.C., Cahoon, D.R. & Lynch, J.C. (2003). Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 17,12.
- CONABIO. 2017. Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/manglares_de_mexico_1.pdf. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- CONABIO. 2021. Manglares. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- CONAFOR. 2020. Inventario Nacional Forestal y de Suelos ciclo 2015-2025. Comisión Nacional Forestal. Disponible en: <https://snmf.cnf.gob.mx/datos-del-inventario/>. Fecha de consulta: 28 de marzo de 2025.
- CONANP. 2015. Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Rerserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/97_libro_pm.pdf. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Sierra Tecuani. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: <https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-RB-SierraTecuani.pdf>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- CONANP. 2024. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Sierra de San Miguelito. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, S., Fqarber, M., Grasso, B., Hannon, K., Limburg, S., Naeem, R., O'Neill, J., Paruelo, R. G., Raskin, P., Sutton, M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387. Pp. 253-260
- DOF. 2019. PLAN Nacional de Desarrollo 2019-2024. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 2019.
- Convención sobre los Humedales. 2021. La contribución de los ecosistemas de carbono azul a la mitigación del cambio climático. Nota Informativa 12. Gland, Suiza: Secretaría de la Convención sobre los Humedales.
- Costanza, R. 2024. Misconceptions about the valuation of ecosystem services. *Ecosystem Services* 70. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041624000743>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- DOF. 2020. PROGRAMA Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2020-2024. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 07 de julio de 2020.
- DOF. 2023. ACUERDO mediante el cual se expiden los costos de referencia para la compensación ambiental por cambio de uso de suelo en terrenos forestales y la metodología para su estimación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional Forestal. Publicado el 8 de marzo de 2023.
- DOF. 2024. Ley General de Cambio Climático. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012. Fecha de última reforma publicada en DOF 01 de abril de 2024.
- Duarte, C., Middelburg, J. y Caraco, N. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*. 1. 173-180 pp.
- Lo Iacono, C., Mateo, M., Gracia, E., Guasch, L., Carbonelli, R., Serrano, L., Serrano, O. y Dañobeitia, J. 2008. Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass Meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates. *Geophysical Research Letters*. Volume 35, Issue 18. Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2008GL034773>. Fecha de consulta: 31 de mayo de 2024.
- Fondo Monetario Internacional. 2022. Economic and Environmental Benefits from International Cooperation on Climate Policies. International Monetary Fund- Research Department. Washington. Disponible en: <https://www.imf.org/en/Publications/Departmental-Papers-Policy-Papers/Issues/2022/03/16/Economic-and-Environmental-Benefits-from-International-Cooperation-on-Climate-Policies-511562>. Fecha de consulta: 7 de enero de 2024.
- Howard, J., S. Hoyt, K. Isensee, M. Telszewski & E. Pidgeon, 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, IOC-UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA. 181 pp.
- INEGI. 2021. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- INEGI. 2025. Índice General. Índice Nacional de Precios al Consumidor. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/calculadorainflacion.aspx>. Fecha de consulta: 04 de marzo de 2025.
- Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. 2021. El acuerdo de París. Disponible en: <https://www.atmosfera.unam.mx/el-acuerdo-de-paris/>. Fecha de consulta: 27 de marzo de 2025.
- IPICYT y SEGAM. 2018. Estudio Técnico de Factibilidad para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva Estatal "Sierra de San Miguelito" San Luis Potosí. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental. P. 177.
- Koleff, P., M. Tambutti, I. J. March, R. Esquivel, C. Cantú y A. Lira-Noriega. 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México. En: Capital natural de México. Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp. 651-718.
- Kennedy, H., J. Beggins, C. Duarte, J. Fourqurean, M. Holmer, N. Marbà & J. Middelburg. 2010. Seagrass sediments as a global carbon sink: Isotopic constraints Global

- Biogeochemical Cycles, 24 (4). Doi:101029/2010GB003848.
- Laffoley, D. y Grimsditch, G. 2009. The Management of Natural Coastal Carbon Sinks. International Union for Conservation of Nature and Resources. Switzerland. 52 pp. Disponible en: <https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfit.edu/coast-climate-adaptation-library/global/iucn-reports/IUCN.-2009.-Global-Carbon-Sinks--Manag.pdf>. Fecha de consulta: 31 de mayo de 2024.
- McKee, K.L., Cahoon, D.R. & Feller, I.C. 2007. Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 545–556.
- Mcleod, E., Chmura, G., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C., Lovelock, C., Schlesinger, W. y Silliman, B. 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal hábitats in sequestering CO₂. *Front Ecol Environ*. 552-560 pp. Disponible en: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/110004>. Fecha de consulta: 09 de abril de 2024.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2003. Metodologías para la valoración económica de bienes, servicios ambientales y recursos naturales. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Guias-valoracion-servicios-ecosistemicos-MADS.pdf>. Fecha de consulta 27 de marzo de 2025.
- Ministerio del Ambiente. 2015. Guía Nacional de Valoración Económica del Patrimonio Natural. Ministerio del Ambiente de Perú. Disponible en: https://observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/documentos/mg12_guia_nacional_de_valoracion.pdf. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- Naciones Unidas. 2025. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. Fecha de consulta: 27 de marzo de 2025.
- Pronatura Noroeste. 2025. *El Parque Nacional Cabo Pulmo: Arrecifes de coral, ejemplo de vinculación entre gobierno, organizaciones civiles y la comunidad*. <https://pronatura-noroeste.org/el-parque-nacional-cabo-pulmo-arrecifes-de-coral-ejemplo-de-vinculacion-entre-gobierno-organizaciones-civiles-y-la-comunidad/>
- Reyes Bonilla, H. 2014. Monitoreo de Corales en el Parque Nacional Cabo Pulmo, Baja California Sur. Informe Final Programa de Monitoreo Biológico en Áreas Naturales Protegidas (PROMOBI). No publicado.
- SIMAR. 2023. Carbono Azul (Blue Carbon). Sistema de Información y Análisis Marino Costero. Disponible en: https://simar.conabio.gob.mx/carbono_azul/. Fecha de consulta: 31 de mayo de 2024.
- Simard, M., Fatoyinbo, L., Smetanka, C., Rivera-Monroy, V. H., Castañeda-Moya, E., Thomas, N., & Van der Stocken, T. 2019. Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience*, 12(1), 40-45. <https://doi.org/10.1038/s41561018-0279-1>.
- UNESCO. 2019. Carbono azul: métodos para evaluar las existencias y los factores de emisión de carbono en manglares, marismas y pastos marinos. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372868_spa Fecha de consulta: 08 de febrero de 2025.
- United Nations Climate Challenge. 2025. Acuerdo de París. Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC). Disponible en: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/contribuciones-determinadas-a-nivel-nacional-ndc>. Fecha de consulta: 27 de marzo de 2025.
- Windham-Myers, L., Crooks, S. and Troxler, T.G. (eds.). 2019. *A Blue Carbon Primer: The State of Coastal Wetland Carbon Science, Practice and Policy*. Boca Raton, U.S.A.: CRC Press.



VALORACIÓN SOCIAL DE SERVICIOS
ECOSISTÉMICOS EN ÁREAS NATURALES
PROTEGIDAS FEDERALES DE MÉXICO

INTRODUCCIÓN

Mtro. Alberto Castro Jaimes¹

La adaptación del espacio físico al servicio de las necesidades humanas es rara vez armoniosa, y con el paso del tiempo amenaza la viabilidad del hábitat para una variedad de especies, y para el propio ser humano. Como se ve en los siguientes cuatro capítulos, las Áreas Naturales Protegidas (ANP) forman parte de una política de conservación basada en delimitar los ambientes terrestres y marinos que funcionan como refugio de la biodiversidad. Sin perder de vista que estos espacios aportan valor intrínseco para las comunidades locales, como medios de subsistencia e identidad, el reto es encontrar mecanismos de gestión efectiva, que eviten la pérdida de características naturales.

Los beneficios que obtienen las personas de la naturaleza se conocen como Servicios Ecosistémicos (SE). Estos pueden, por ejemplo, disfrutarse directamente del abastecimiento y aprovechamiento de medios tangibles, como el agua o materias primas; o indirectamente, a través de la regulación climática o del soporte a la biodiversidad. La valoración de estos SE es un campo de estudio que busca conocer, clasificar y medir el aporte de los ecosistemas al bienestar humano.

El diseño de medidas y proyectos de intervención relacionados con la conservación se fortalece al comprender cómo y en qué magnitud se vincula una comunidad con las ANP en ámbitos tan diversos como el económico, el social y hasta el afectivo. Al identificar patrones de comportamiento, sistemas de valores o la disposición de los actores para mejorar su medio, se contribuye a que el diseño de intervenciones públicas adquiera un carácter realista. Se abre además un margen para involucrar perspectivas participativas y desarrollar prácticas sostenibles de escala comunitaria. Un ejercicio serio de valoración de los SE, puede asegurar el éxito de las estrategias de preservación, y favorecer la construcción de una gobernanza ambiental.

Los estudios que integran este apartado profundizan el proceso de valoración de SE en cuatro ANP de México. Los datos analizados son todos originales, por ende, inéditos. Asimismo, los métodos aplicados se enriquecen de un constructo claro, que en cada caso se operacionaliza hábilmente en instrumentos de recolección y sistematización de información consistentes. Sus rutas analíticas son todas mixtas y muy diversas, desde el análisis cualitativo, por ejemplo, para reconocer y comparar la percepción de comunidades sobre los SE del bosque; o bien, para captar actitudes que luego son clasificados por perfil ambiental a través de un análisis bayesiano de clases latentes.

Una constante de estos cuatro capítulos es la construcción de conocimiento sobre los habitantes de comunidades, trabajadores y público visitante de las ANP, que es valioso para el diseño de estrategias de intervención con carácter participativo, e incluyente.

En lo particular, el primer estudio se enfoca en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, en Campeche. Mediante un indicador compuesto que condensa valores de sustentabilidad social, económica y ambiental, se construye un Índice de Desarrollo Sostenible. Todas estas esferas se despliegan sobre el desarrollo de la meliponicultura, que es la crianza de abejas sin aguijón, con prácticas tradicionales. Mediante un ejercicio participativo se busca evaluar el impacto del componente de capacitación de un programa de intervención comunitaria, para identificar la adquisición de habilidades y el cambio en la percepción de sus participantes.

También se evidencia una ruptura en la transmisión intergeneracional del conocimiento tradicional, que dificulta aún más la obtención de resultados eficaces y significativos de las estrategias de conservación, por lo que sus conclusiones derivan en recomendaciones puntuales cimentadas en

¹ Profesor de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México y Director Ejecutivo de Planeación, Investigación y Vinculación Externa del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. Correo: acj@unam.mx

la actividad meliponícola y actividades turísticas que aprovechen de manera combinada y sustentable la riqueza natural y cultural de la zona.

El segundo estudio tiene lugar en el Parque Nacional La Malinche, en Tlaxcala-Puebla. Busca extraer valores locales, reconociendo que el vínculo con el bosque es tanto material como simbólico. Para ello se trabaja con habitantes y campesinos de tres localidades que, además de identificar SE como el de abastecimiento, sugieren fuertemente la asociación del bosque con la recreación y el ecoturismo, seguido del bienestar individual y colectivo.

Con ello, la identidad y el sentido de pertenencia centrados en los SE culturales resaltan el valor del conocimiento tradicional para comprender el vínculo simbólico entre las comunidades y su entorno natural. En síntesis, subraya la importancia de integrar estas percepciones locales para nutrir las políticas de conservación, restauración y manejo de las ANP.

Un tercer estudio retoma el incremento en el afluente turístico del Área de Protección de Flora y Fauna Balandra, en Baja California Sur. Se propone identificar el perfil ambiental de los visitantes como insumo para establecer medidas integrales que mitiguen los impactos ambientales del turismo. Para ello se analiza el conocimiento y la actitud de los visitantes, en orden de fortalecer las acciones de preservación y restitución de espacios naturales en el marco del derecho a un ambiente sano, sin restar potencial económico y cultural a los habitantes de estas áreas.

El cuarto y último estudio desarrolla un enfoque teórico de las percepciones de niños de cuarto a sexto grado de primaria de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote, en Chiapas. Más allá de la percepción sensorial, los juicios y valores presentes en los dibujos de estos niños cumplen un fin interpretativo del contexto social en dos comunidades, que se distinguen entre sí por las fuentes de acceso al agua. Como resultado, a través de un correlato de experiencias, el origen del agua se asoció con la lluvia, los ríos y los mares; y se identificó esencial la delimitación de SE de abastecimiento, consumo y uso recreativo del agua.

En su conjunto, estos capítulos parten del reconocimiento de que los ecosistemas del mundo se han deteriorado aceleradamente, y enfatizan que la función ambiental de las ANP es conservar la biodiversidad. Pero el éxito de su gestión requiere asimilar la relación estrecha con la actividad humana, por lo que, las medidas para su conservación requieren tanto del conocimiento biofísico, como de los sistemas de valores internalizados que participan en el contexto sociocultural y económico de las comunidades.

CAPÍTULO ONCE

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA AGRICULTURA: CASOS DE ESTUDIO EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS FEDERALES DE MÉXICO

Lic. Ángel Alexis Camacho Villaseñor¹

Estudiante Pablo Eduardo Cruz Chávez²

Lic. Julio César Sánchez Chávez³

Resumen

Uno de los objetivos de las áreas naturales protegidas (ANP) es el asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, sus elementos y sus funciones. Si bien los servicios ecosistémicos que proveen no suelen ser reconocidos en los aparatos productivos que se ven beneficiados por aquellos al tratarse de externalidades para la actividad económica, su impacto es de relevancia para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales al fungir como sustitutos de métodos productivos artificiales. La agricultura es una de las principales actividades desarrolladas en las ANP que tiene vínculo directo con los recursos naturales y, por ende, se encuentra en relación directa con los servicios ecosistémicos provistos por aquellas. Con el fin de reconocer el valor económico de dichos servicios, se analizan tres casos de estudio: el área de protección de recursos naturales Lago de Tláhuac-Xico mediante un análisis comparativo de productividades en la Ciudad de México; la reserva de la biosfera Sian Ka'an, con base en el examen de la influencia de la polinización en los cultivos de pitahaya en las zonas aledañas; y, finalmente, se revisa el papel de los murciélagos insectívoros en el control de insectos plaga para zonas agropecuarias aledañas. Derivado de este análisis, se concluye que el valor económico de los servicios ecosistémicos que benefician la agricultura tiene el potencial de vincularse con esquemas de financiamiento que potencie la preservación de los ecosistemas que los generan en primera instancia.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos; agricultura; control de plagas productividad; polinización.

Abstract: One of the objectives of protected natural areas (NPAs) is to ensure the preservation and sustainable use of ecosystems, their elements, and their functions. Although the ecosystem services they provide are not usually recognized in the productive engines that benefit from them as they are externalities for economic activity, their impact is relevant for the sustainable use of natural resources by acting as substitutes for artificial production methods. Agriculture is one of the main activities carried out in NPAs that is directly linked to natural resources and, therefore, is directly related to the ecosystem services they provide. In order to recognize the economic value of these services, three case studies are analyzed: the Lago de Tláhuac-Xico natural resources protection area, through a comparative analysis of productivity in Mexico City; the Sian Ka'an Biosphere Reserve, based on the examination of the influence of pollination on pitahaya crops in the surrounding areas; And finally, the role of insectivorous bats in controlling insect pests in surrounding agricultural areas is reviewed. Based on this analysis, it is concluded that the economic value of ecosystem services that benefit agriculture has the potential to be linked to financing schemes that enhance the preservation of the ecosystems that generate them in the first place.

Key words: Ecosystem services; agriculture; pest control; productivity; pollination.

1 Investigador del Centro de Economía y Prospectiva de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correo: alexcamvill@outlook.com

2 Estudiante de la licenciatura en economía de la Facultad de Estudios Superiores Aragón de la Universidad Nacional Autónoma de México. Correo: eduardocruz28@aragon.unam.mx

3 Consultor del Proyecto UTF/MEX/154 Implementación y fortalecimiento de la gestión sostenible de Áreas Naturales Protegidas. Correo: Julio.SanchezChavez@fao.org

Introducción

Las áreas naturales protegidas (ANP), además de preservar los ambientes representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas y de los ecosistemas más frágiles, tienen como objetivo generar, rescatar y divulgar conocimientos, prácticas y tecnologías, tradicionales o nuevas, que permitan la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional y asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, sus elementos y sus funciones.

En tal sentido, existen ANP cuyas comunidades realizan actividades productivas en su interior bajo una lógica de respeto y cuidado de los ecosistemas, como la agricultura. Además de la utilización de prácticas sostenibles, estas comunidades son las beneficiarias directas de los servicios ecosistémicos que son provistos por los ecosistemas del ANP, lo cual les proporciona ventajas comparativas respecto a productores que no cuentan con dichos servicios, las cuales no siempre son reconocidas al ser externalidades para la actividad económica.

Con el fin de identificar y valorar la contribución de los ecosistemas de las ANP a la actividad agrícola, se analizan tres casos de estudio: en primer lugar, se analiza el ciclo productivo de la agricultura en el Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Tláhuac-Xico, el cual se basa en el aprovechamiento de los recursos del área, tales como el lodo y el agua del lago para la formación de chapines y el riego de los cultivos; en segundo lugar, se hace una revisión de la polinización de cultivos de pitahaya por parte de los murciélagos que se distribuyen en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an; y, finalmente, se examina el impacto del consumo de insectos plaga por parte de murciélagos insectívoros en la Reserva de la Biosfera Balam Kú.

Derivado de lo anterior, se concluye que es necesario incorporar el valor de los servicios ecosistémicos en la actividad agrícola con el fin de diferenciar los productos agrícolas que incorporan técnicas productivas tradicionales y basadas en la naturaleza de aquellos que son producidos mediante técnicas industriales para generar mercados particulares de productos orgánicos con valores añadidos que incrementen su valor y capacidad de venta.

Metodología

La función de producción relaciona diversas cantidades de factores productivos para obtener un cierto cuántum de producto. Los factores más socorridos en la literatura son la tierra, el capital, el trabajo y la tecnología; estos elementos se ponen en marcha y obtienen el resultado final (Nicholson, 2008, pág. 186):

$$1) Q=f(A,T,K,L)$$

La ecuación 1 generalmente se simplifica al suponer que la tecnología es un dato dado, con lo cual se obtiene la función de producción básica:

$$2) Q=f(K,L)$$

Esta, a su vez, suele ser expresada mediante la forma Cobb-Douglas (Varian, 2010):

$$3) Q=f(K,L)=K^{\alpha} L^{\beta}, \text{ con } \alpha+\beta=1$$

La restricción asociada a los coeficientes α y β implica que existen rendimientos decrecientes en cada factor, con lo cual se asegura la obtención de un punto de equilibrio. Sin embargo, una función como la presentada en la ecuación 3 omite el flujo de recursos con el cual trabajarán los factores productivos y no reconoce los residuos de esta actividad.

Sobre el primer punto, la función de producción clásica permite la combinación indistinta de trabajo y capital con base en el supuesto de perfecta sustitución de los factores, dejando las condiciones de combinación a la relación de intercambio establecida por sus precios relativos y productividad.

Para incorporar los recursos naturales, algunas derivaciones de la función de producción los incorporan como materias primas, manteniendo el supuesto de perfecta sustitución de los factores (Solow, 1973):

$$4) Q=f(K,L,R)=K^{\alpha} L^{\beta} R^{\gamma}, \text{ con } \alpha+\beta+\gamma=1$$

Bajo este esquema, el capital reproducible (K) y los recursos naturales (R) son perfectamente sustituibles de tal modo que, a medida que se reduce el monto disponible de recurso natural, es posible incrementar el monto de capital reproducible para garantizar el mismo nivel de producción. Es decir, se supone que no hay diferencias cualitativas importantes entre ambos tipos de capital por lo que lo que hace uno, el otro perfectamente puede hacerlo. De este modo, se pueden producir 1,000 camisas con 20 trabajadores, 1 máquina y 1 kilo de

algodón, siempre y cuando su relación de productividades determine que esa es la combinación óptima. En esta idea subyace la noción de sustentabilidad débil que indica que es posible alcanzar la sustentabilidad, entendida como la presencia de un stock de capital total en la economía⁴ constante en el tiempo, a través del incremento de uno de los factores ante la reducción del otro.

En contraste, la sustentabilidad fuerte, cuyas bases se encuentran en Georgescu Roegen (Hernández, 2008), aboga por mantener constante el flujo de servicios provenientes del capital natural que es heterogéneo y diferenciable con respecto al capital manufacturado. Desde esta postura, se reconoce que sí existen diferencias cualitativas entre el capital físico y el capital natural y que entre ellos hay una relación de complementariedad. La sustitución sólo acontece entre los recursos del capital natural y, aunque la tecnología hace más eficientes los procesos, siempre existirá un límite ecológico que no podrá rebasarse por la diversidad de funciones que cumple el patrimonio natural.

El enfoque de sustentabilidad débil no toma en cuenta que ni mil personas ni mil máquinas pueden producir una camisa si no se posee algodón para su fabricación. El algodón aparece como un flujo de recursos naturales que el factor trabajo y el factor capital modificarán hasta obtener un producto con las características de una camisa. Sin este flujo, la función de producción no se puede poner en marcha o lo puede realizar, pero con un incremento sustancial en costos reflejados en inversiones en capital o trabajo que logren compensar las pérdidas en productividad asociadas a los recursos naturales.

Aunado a lo anterior, una empresa que produce camisas no incluye en estas todos los componentes del algodón, el agua para moldear la tela ni el combustible que pone a funcionar las maquinarias textiles. Necesariamente habrá residuos de la actividad económica que regresan al medio, afectando de diversas maneras al sistema global. Cabe resaltar que con el incremento de capital y/o trabajo relacionado con la compensación de la caída de recursos naturales se encuentra asociada una mayor generación de residuos, mientras que la producción de residuos asociada al uso de los servicios ecosistémicos es mínima.

Al ignorar los flujos y residuos en el aparato económico, se omiten las repercusiones que el proceso productivo puede tener en el sistema natural con lo cual se da una subvaloración de los activos ambientales que lleva a su sobreexplotación. En última instancia, se hace patente una pérdida de productividad que no está siendo incorporada en la función de producción: para mantener el mismo nivel de producto, es necesario incorporar más elementos al proceso productivo que sustituyan los servicios ecosistémicos, lo que es igual a un incremento sustancial en costos y una mayor degradación ambiental (Camacho, 2023).

Desde la lógica de las externalidades, entendidas como “el efecto no compensado de las acciones de una persona sobre el bienestar de un tercero” (Mankiw, 2012, pág. 196), los servicios ecosistémicos no son reconocidos por el sistema económico más que como externalidades ajenas a la actividad económica. Esto provoca que el costo marginal que enfrentan las empresas esté subsidiado por la provisión de servicios ecosistémicos de la naturaleza pues, de no existir estos, aquellas tendrían que invertir en su sustitución por medios artificiales.

Las externalidades, en este sentido, modifican las condiciones a las que se enfrentan los agentes, pero no son incorporadas en el sistema de precios de tal modo que el equilibrio general no se alcanza (Tello, 2017). No obstante, si se logra internalizar la externalidad, el propio mercado posee mecanismos que redefinen los valores óptimos y permiten que se alcance el punto de equilibrio (Garabiza et al., 2017). En este sentido, la valoración de servicios ecosistémicos permite internalizar esta externalidad, lo cual lleva a reconocer el valor de la naturaleza en el sistema económico.

Cabe señalar que el reconocimiento del valor de la naturaleza puede llevar a un escenario de sobreaprovechamiento de los recursos naturales, comúnmente conocido como “la tragedia de los comunes”: los bienes ambientales se caracterizan por ser bienes públicos cuyo acceso es libre, así que las personas tendrán incentivos para aprovecharlos lo antes posible, lo cual provoca que se degraden con mayor celeridad (Hardin, 1968; Ostrom, 1990). No obstante, a pesar de que los bienes ambientales son bienes públicos, la tragedia de los comunes se transfigura dependiendo de las características del recurso en cuestión, puesto que la capacidad de aprovechamiento por parte de los individuos está restringida por sus necesidades, potencial tecnológico, por las características de la fuente que provee el recurso y la cantidad de recurso que provee, entre otras (Camacho, 2023).

Asimismo, según Ostrom (1990), existen mecanismos para controlar el acceso a los bienes públicos y garantizar su provisión en el tiempo, los cuales deben basarse en una “gobernanza ambiental adecuada, es decir, que provean información adecuada sobre el estado de los recursos y su manejo (...), resuelvan conflictos, cuen-

⁴ El capital total de una economía se compone de capital reproducible y capital natural. El primero, a su vez, engloba al capital humano (conocimiento) y al capital físico; el segundo, por su parte, incluye los recursos naturales renovables y no renovables (Barinaga-Rementería & Etxano, 2016). Concretamente, se tiene que (Pérez, 2012):

$$K_t = K_n + K_m + K_h + K_i$$

En donde K_t es el capital total; K_n es el capital natural; K_m es el capital manufacturado; K_h es el capital humano; y K_i representa otros tipos de capital. Bajo el enfoque de la sustentabilidad débil, ante una caída de K_t por razón de una reducción de K_n , es posible elevar K_m o K_h para compensarlo.

ten con reglas claras para el acceso y uso, induzcan el cumplimiento de las reglas y se adapten al cambio”. Las áreas naturales protegidas, como esquemas de regulación federal, establecen las reglas del juego de los agentes económicos que realicen actividades en su interior; lo que permite garantizar su aprovechamiento en el largo plazo. En tal sentido, el reconocimiento del valor económico de sus servicios ecosistémicos, lejos de fomentar su aprovechamiento descontrolado, permitiría potenciar la producción sustentable, diferenciar sus productos y fomentar el consumo sustentable de estos.

Con el fin de estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos asociados a la actividad agrícola en ANP, se analizarán tres casos de estudio aplicando diferentes metodologías para su evaluación:

- Actividad agrícola en el APRN Lago de Tláhuac-Xico: Con una producción basada en el agroecosistema chinampero, la actividad agrícola en el APRN Lago de Tláhuac-Xico despierta en la Ciudad de México por la presencia de insumos orgánicos provenientes de los sistemas lacustres del ANP. Su valoración económica se realizará mediante una comparativa de productividades de los principales cultivos producidos en la zona con respecto al resto de alcaldías de la CDMX.
- Servicios de polinización en la RB Sian Ka'an: La producción de pitahaya se encuentra asociada a la polinización nocturna realizada por murciélagos insectívoros, varios de los cuales se distribuyen en la RB Sian Ka'an. Su valoración económica se realizará mediante el análisis de las razones de dependencia del cultivo de la pitahaya respecto a los servicios de polinización silvestres.
- Servicios de control de plagas agrícolas: La RB Balam Kú cuenta en su interior con el “Volcán de los Murciélagos”, una cueva donde residen cerca de 3 millones de murciélagos, los cuales salen en búsqueda de alimento en las zonas aledañas, consumiendo insectos que suponen riesgos a los cultivos agrícolas contiguos. Su cuantificación se realizará mediante el método de costos evitados sobre la sustitución de los murciélagos insectívoros por pesticidas artificiales.

Actividad agrícola en el APRN Lago de Tláhuac-Xico

El Área de Protección de Recursos Naturales (APRN) Lago Tláhuac-Xico tiene como objetivo conservar uno de los paisajes lacustres más representativos, históricos y culturales de la Cuenca de México, considerado como Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), preservando además las zonas chinamperas de Tláhuac y Mixquic, uno de los agroecosistemas más exitosos y excepcionales como unidad de producción en el mundo, cuya creatividad y tecnología ancestral en el manejo hídrico, siguen brindando hasta ahora la seguridad alimentaria a uno de los asentamientos más densamente poblados del mundo, por lo que es reconocido como el Sistema Agrícola de Chinampas en Ciudad de México, parte de los Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Históricamente, en la Cuenca de México las poblaciones asentadas en el lago de Texcoco desarrollaron técnicas de agricultura aprovechando las condiciones materiales con las que contaban, es así como nacieron las conocidas “Chinampas”. Este agroecosistema se caracteriza porque el suelo es elevado, con respecto al nivel del agua para drenarlos, utilizando para ello materiales como lodo, materia orgánica, árboles, conglomerados de vegetación, entre otros materiales, con la finalidad de estabilizar una porción de tierra a manera de islote, y drenados por medio de canales. En particular las chinampas, son parcelas artificiales de forma rectangular con islotes largos y angostos, cuyas dimensiones permiten la captura de humedad de los canales chinamperos.

Las chinampas se construyeron sobre entretejidos de vegetación acuática natural conocidos como céspeces, atapalacatl o pantano, apilando sobre estos, lodo del lago, tierra y otros conglomerados.

Las chinampas más tempranas en la Cuenca de México corresponden al Posclásico Temprano (900-1200 d.C.), localizadas en Xaltocan, Acatla y Ayotzingo; mientras que para el Posclásico Tardío (1350-1521 d.C.) dicha técnica se extiende por la mayor parte del sistema lacustre (Acosta et al., 2024.)

A pesar de las presiones urbanas e impactos asociados, estos sistemas agroforestales son extraordinariamente fértiles y productivos debido al suelo orgánico que los compone, lo que les permite albergar una gran cantidad de cultivos como es el caso del cilantro (*Coriandrum sativum*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), lechuga (*Lactuca sativa*), cempasúchil ó zempoalxochitl (*Tagetes erecta*), apio (*Apium graveolens*), maíz (*Zea mays*), calabaza (*Cucurbita pepo*), frijol (*Phaseolus vulgaris* y *Phaseolus coccineus*), romeritos (*Suaeda edulis*), también algunos quelites, que pueden crecer de forma silvestre o cultivarse, como es el caso de la malva (*Anoda cristata*), el quelite cenizo (*Chenopodium berlandieri*) y el quintonil (*Amaranthus hybridus*) (Moreno et al., 2013).

Actualmente las chinampas solo persisten en la región de humedales de Xochimilco y Tláhuac, donde aún tienen una diversificación agrícola con tecnologías aplicadas con base en las necesidades hidrológicas, la distribución de los nutrientes en los cultivos, aspectos fitosanitarios y las condiciones climáticas y ambientales. Esto la convierte en la zona productora de hortalizas más importante de la Ciudad de México, y una de las zonas con mayor concentración de elementos patrimoniales inmateriales, que dan vida a la cultura chinampera del sur de la ciudad. En la alcaldía Tláhuac se identifican siete cultivos cuyo rendimiento es más elevado que el registrado a nivel de la Ciudad de México (Tabla 1). En tal sentido, se puede inferir que el aprovechamiento de los cuerpos de agua situados dentro de la APRN, así como la implementación del sistema agrícola chinampero, influyen de manera significativa en este diferencial del rendimiento. A partir del diferencial de rendimiento, se calcula la producción excedente asociada a los recursos naturales y agroecosistemas del APRN Lago de Tláhuac-Xico (Véase Tabla 1).

Tabla 1. Comparativa de productividades entre CDMX y Alcaldía Tláhuac (2023).

Cultivo	Unidad de medida (UDM)	Producción (UDM)	Diferencial de rendimiento productivo* Vs. CDMX.	Producción excedente (UDM)
Cilantro	Toneladas	208.00	23.83%	49.57
Calabacita	Toneladas	380.85	13.69%	52.16
Maíz grano	Toneladas	561.56	2.88%	103.01
Verdolaga	Toneladas	1,060.98	3.98%	42.18
Espinaca	Toneladas	428.70	3.58%	15.36
Nochebuena	Planta	718,740.00	3.54%	25,451.72
Lechuga	Toneladas	2,218.00	2.11%	46.87

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (SADER, 2024).

Una vez que se conoce el volumen de excedente productivo, es posible calcular el valor monetario asociado a este: para ello, se multiplica el volumen de dichos excedentes por los precios medios rurales. De esta manera, y como se mencionó anteriormente, se puede estimar los beneficios agrícolas asociados no solo a los recursos hídricos existentes dentro del APRN, si no también de la conservación del sistema agrícola chinampero. Derivado de este análisis, se obtiene que los beneficios productivos por la utilización de los recursos naturales en el APRN Lago de Tláhuac-Xico ascienden a 3.9 millones de pesos (Véase Tabla 2).

Tabla 2. Valor económico del producto excedente asociado a los recursos naturales del APRN Lago de Tláhuac-Xico

Cultivo	Unidad de medida (UDM)	Producción excedente (UDM)	PMR (\$/UDM)	Valor del excedente productivo (Pesos)
Cilantro	Toneladas	49.57	7,836.53	388,482.91
Calabacita	Toneladas	52.16	9,173.11	478,431.01
Maíz grano	Toneladas	103.01	6,306.93	649,664.54
Verdolaga	Toneladas	42.18	8,477.99	357,598.51
Espinaca	Toneladas	15.36	7,189.5	110,443.30
Nochebuena	Planta	25,451.72	63	1,603,458.43
Lechuga	Toneladas	46.87	7,662.99	359,149.59
Total	\$3,947,228.29			

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SADER (2024).

* Se define al rendimiento productivo como el cociente de unidades producidas (toneladas, manojos, plantas, etc.) sobre las hectáreas cosechadas.

Servicio ecosistémico de polinización en la RB Sian Ka'an

Una propuesta para incorporar los servicios ecosistémicos como un factor de la función de producción es la planteada por Galindo y Basurto (2021) quienes aplicaron la metodología de razón de dependencia de los cultivos al servicio de la polinización a través de la estimación de pérdidas de productividad en la valoración de los servicios de polinización. De acuerdo con estos autores, es posible describir una función de producción que identifica la pérdida del servicio ambiental como un impacto en la productividad del proceso productivo:

$$Y_t = F(\text{ins}_t, \text{otro}_t, \text{serv}_t, \epsilon_t)$$

Donde Y_t : representa la ins_t producción generada; corresponde a los insumos totales; son otras variables de control; serv_t es el servicio ambiental en cuestión y ϵ_t incorpora variables estocásticas como el clima.

La ecuación anterior puede expresar del siguiente modo:

$$Y_t = \alpha \text{ins}_t + \beta \text{serv}_t + \epsilon_t$$

De este modo, el coeficiente gamma (γ) asociado al servicio ambiental indica su contribución al proceso productivo en términos de su productividad que, en contraste con otros insumos, su costo de acceso tiende a cero pues es una fuente que otorga la propia naturaleza. En este sentido, si el servicio ambiental desapareciera, se deben incrementar los insumos totales en una proporción para compensar las características del recurso natural y, aun en este caso, es posible que no se logre la sustitución completa pues los servicios ambientales poseen características que son únicas y difíciles de replicar incluso con capital sofisticado o mano de obra calificada. Asimismo, los costos incrementarían por concepto de reemplazo de las fuentes naturales por insumos productivos al uso. Ello otorga una ventaja competitiva a los productores que sí pueden acceder al servicio ambiental en contraste con aquellos que no lo poseen y tienen una pérdida en productividad o que deben compensarla con inversión en otros insumos productivos.

Por ejemplo, el servicio ambiental de la polinización permite la reproducción constante de cultivos a través del intercambio de polen entre las distintas plantas. Esta función es desempeñada por diversos animales (abejas, mariposas, murciélagos, etc.) como parte de su proceso biológico inherente, de tal modo que su incorporación en el proceso productivo no constituye un desembolso de recursos extra. En caso de no tener este servicio ambiental, los productores deberían invertir en capital o mano de obra que puedan desempeñar las mismas funciones que los polinizadores u operar con esta pérdida de productividad.

Lo mismo ocurre con el servicio ambiental de control de plagas que proveen algunos animales como los murciélagos. De igual forma que con la polinización, el control de plagas surge a raíz del propio proceso biológico de los murciélagos quienes en su búsqueda de comida consumen insectos potencialmente dañinos para los cultivos o la salud humana. Ello provoca que aquellos que tienen acceso a este servicio ambiental, vean controladas las plagas en sus cultivos y, por ende, se incrementa su productividad; en contraste, en una situación donde el servicio ambiental no se encuentra presente se vuelve necesario incorporar insumos productivos dedicados al control de plagas (plaguicidas, trabajadores que desinfecten, etc.) con el correspondiente incremento de costos y, si el plaguicida contiene compuestos tóxicos, también se incorpora un daño ambiental extra.

En síntesis, la incorporación de los servicios ambientales en la función de producción permite analizar las repercusiones económicas que los recursos naturales poseen en el proceso productivo. Sin ellos, la receta productiva se ve entorpecida y, aun en los casos en los que las funciones del recurso natural puedan sustituirse por capital o mano de obra, los costos se incrementarían. Por lo tanto, la preservación de la naturaleza se vuelve más eficiente que su degradación.

Polinización en la RB Sian Ka'an

México es centro de origen y domesticación de plantas importantes para el ser humano, con más de 420 plantas utilizadas. Los polinizadores nativos del país, incluyendo varias especies de abejas solitarias, abejorros, abejas sin aguijón, mariposas, murciélagos, entre otros, han demostrado proveer servicios de polinización en varios cultivos de importancia comercial. En tal sentido, la presencia de polinizadores en los campos de cultivo incrementa el rendimiento de estos al presentar un mayor número de semillas producidas por planta, en comparación con el tratamiento en ausencia de polinizadores (SADER-SEMARNAT, 2021).

Si bien al interior de la RB Sian Ka'an no se identifican aprovechamientos agrícolas, el principal cultivo producido en el municipio de Felipe Carrillo Puerto es la pitahaya, el cual aportó el 35.1% del valor de la producción agrícola municipal en apenas el 7.7% de la superficie agrícola sembrada del municipio (SIAP, 2024).

La pitahaya es un producto altamente demandado a nivel regional e internacional, siendo México el principal productor del mundo y donde el municipio de Felipe Carrillo Puerto ocupa el primer lugar nacional tanto

en términos de la superficie cosechada de este cultivo con el 72% del total nacional, como en cuanto a producción y valor al aportar el 68% y 62% del total nacional, respectivamente (DSG, 2023; SIAP, 2023).

De acuerdo con el INIFAP (2021), la polinización es esencial para la producción de la pitahaya: a medida que las flores del cultivo abren en la noche, las flores son polinizadas principalmente por murciélagos. Cabe señalar que en México la interacción entre la planta de pitahaya y los murciélagos se da de forma natural, a diferencia de otros países donde se ha introducido el cultivo (SADER-SEMARNAT, 2021) y que la eficiencia de la polinización en el cultivo de pitahaya se estima en 85% (Méndez & Coello, 2016).

Por su parte, en la RB Sian Ka'an se distribuyen distintas especies de murciélagos frugívoros (CONANP, 2015), los cuales cuentan con ámbitos hogareños de hasta 100 kilómetros a la redonda (BatFriendly, 2015; Arnone et al, 2016 y Bontadina et al, 2002). En tal sentido, los cultivos agrícolas de pitahaya que se ubiquen dentro del ámbito hogareño de las especies de murciélagos presentes en la RB Sian Ka'an se verán beneficiados por sus servicios de polinización.

Dado que no se cuenta con información puntual de los sitios de concentración de dichas especies al interior de la RB Sian Ka'an, para el cálculo de la superficie agrícola que se ubica en el radio de movimiento de los murciélagos del ANP se tomará como referencia el punto céntrico de la RB Sian Ka'an y se utiliza como base la Carta de Uso de Suelo y Vegetación Serie VII de INEGI (2021). De este modo, se estima que la superficie agrícola del municipio de Felipe Carrillo Puerto beneficiada por los murciélagos de la RB Sian Ka'an es de 49,224.35 ha, lo que representa el 82.09% de toda la superficie agrícola del municipio (Véase Tabla 3).

Tabla 3. Superficie agrícola beneficiada por los servicios de polinización de la RB Sian Ka'an.

Concepto	Monto
a) Superficie agrícola 100KM Sian Ka'an	49,224.35
b) Superficie agrícola FCP	59,967.34
c) % en 100KM Sian Ka'an (a/b)	82.09%

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2021).

Por su parte, de acuerdo con datos del SIAP (SADER, 2024), el volumen de la producción agrícola de pitahaya en el municipio de Felipe Carrillo Puerto fue de 10,200 toneladas, lo que representó un valor de 153,000,000 pesos. Bajo el supuesto de productividad y distribución homogénea del cultivo en toda la superficie agrícola del municipio, se estima que la producción beneficiada por los servicios de polinización de la RB Sian Ka'an es de 8,373 toneladas con un valor de 125,590,461 pesos (Véase Tabla 4).

Tabla 4. Valor y volumen de la producción de pitahaya beneficiada por los servicios de polinización de la RB Sian Ka'an.

Concepto	Monto
a) Valor de la producción (pesos)	\$153,000,000
b) Volumen de la producción (toneladas)	10,200
c) Valor de la producción en 100KM (pesos) (a*82.09%)	125,590,461
d) Volumen de la producción en 100KM (toneladas) (b*82.09%)	8,373

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SADER (2024).

Considerando lo anterior, se estima que los beneficios por servicios de polinización que son provistos a los cultivos de pitahaya son de 106,751,892 pesos, lo cual representa 7,117 toneladas de pitahaya, en donde los murciélagos de la RB Sian Ka'an juegan un papel relevante (Véase Tabla 5).

Tabla 5. Servicios de polinización de los cultivos de pitahaya en el rango de distribución de los murciélagos de la RB Sian Ka'an.

Concepto	Monto
a) Valor de la producción (pesos)	\$125,590,461
b) Volumen de la producción (toneladas)	8,372.70
c) Valor de la producción asociado a la polinización (a*85%) (pesos)	\$106,751,892
d) Volumen de la producción asociado a la polinización (b*85%) (toneladas)	7,117

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SADER (2024).

Control de plagas por murciélagos en la RB Balam Kú

A nivel nacional, se han reportado más de 500 especies de mamíferos terrestres, principalmente roedores (orden Rodentia) con alrededor de 260 especies, murciélagos (orden Chiroptera) con casi 140 especies, seguido por cerca de 50 especies de erizos, topes y musarañas (orden Eulipotyphla) y alrededor de 30 carnívoros (orden Carnivora) (Lara et al., 2023; Saldaña-Vázquez et al., 2023).

En particular, en el estado de Campeche se registran más de 100 especies de mamíferos terrestres nativos, lo que representa el 21 % de la mastofauna mexicana, figuran en 11 órdenes, de los cuales los más diversos corresponden a los murciélagos (orden Chiroptera), seguido de los roedores (orden Rodentia) y los carnívoros (orden Carnivora) (Vargas-Contreras et al., 2014).

Respecto a los quirópteros, en la RB Balam Kú destaca la cueva conocida como “El Volcán de los Murciélagos”, considerada un sitio ecológicamente importante y un hot spot⁵ para la conservación de los murciélagos en México, pues en ella habitan hasta tres millones de quirópteros (Hernández-Pérez, 2020) los cuales pertenecen a al menos 9 especies de cinco familias; 8 de estas especies son insectívoras: murciélago cola suelta ancha (*Nyctinomops laticaudatus*), murciélago barba arrugada (*Mormoops megalophylla*), murciélago lomo pelón menor (*Pteronotus fulvus*), murciélago lomo pelón mayor (*Pteronotus gymnonotus*), murciélago bigotón (*Pteronotus mesoamericanus*), murciélago bigotudo (*Pteronotus psilotis*), murciélago (*Natalus mexicanus*) y miotis pata peluda (*Myotis keaysi*), los cuales son importantes para el control de plagas en la región (CONANP, 2023).

La cercanía de la RB Balam Kú con la Reserva de la Biosfera Calakmul y el Área de Protección de Flora y Fauna Balam-Kin, cobra especial relevancia ya que la continuidad del hábitat permite que estas especies encuentren alimento cercano a su sitio de descanso y refugio; a cambio, los murciélagos contribuyen a la polinización de las diferentes especies vegetales, la dispersión de semillas y el control de poblaciones de insectos perjudiciales para los humanos y para los cultivos agrícolas.

De acuerdo con Segura-Trujillo e Iñiguez-Dávalos (2023), en las parcelas en que los murciélagos forrajeen presentan 7% menos daños causados por insectos plaga, en comparación con parcelas en las que se aisló el forrajeo de murciélagos, lo que representa un beneficio promedio de 218 dólares al año por hectárea. Con el fin de convertir dicho dato a pesos mexicanos y actualizarlo a valor presente, se toma en consideración lo siguiente:

El tipo de cambio FIX promedio durante 2023 fue de \$17.7338 pesos por dólar (Banxico, 2025).

La inflación acumulada de enero de 2024 a marzo de 2025 es de 4.20 % (INEGI, 2025).

La superficie agropecuaria al interior de la RB Balam Kú es de 9,893.38 ha. Si bien considera tanto usos agrícolas como ganaderos, el control de plagas beneficia al mantenimiento de los pastizales y tierras de las cuales hacen uso la ganadería, por lo cual se tomará en cuenta el total de su extensión para su cuantificación.

Dado que el área de influencia de la colonia de murciélagos alcanza un radio de hasta 100 km (Bat-Friendly, 2015), los murciélagos de El Volcán de los murciélagos impactarán en las zonas agropecuarias de la RB Balam Kú.

De este modo, el beneficio total por servicios de control de plagas asociados a los murciélagos en la superficie agropecuaria del ANP se estima en \$39,853,889.22 pesos anuales (Véase Tabla 6).

⁵ Son regiones con por lo menos 1,500 especies endémicas de plantas vasculares con flores (más de 0.5 por ciento del total de especies en el mundo) y que han perdido por lo menos el 70% de la extensión original de su hábitat (CONABIO, 2009).

Tabla 6. Beneficios por servicios de depredación de insectos plaga en la RB Balam Kú

Concepto	Monto
Beneficio por depredación de insectos plaga (dólares por hectárea al año)	\$218
Tipo de cambio FIX promedio 2023 (pesos por dólar)	\$17.7338
Beneficio por depredación de insectos plaga (pesos por hectárea al año, a*c)	3,844.1684
Factor de inflación enero 2024 a marzo de 2025	4.20 %
Beneficio por depredación de insectos plaga a valor presente (pesos por ha al año, c*(1+d))	4,028.34
Superficie agropecuaria de influencia de los murciélagos al interior de la RB Balam Kú (hectáreas)	9,893.38
Beneficios totales anuales por servicios de depredación de insectos plaga (pesos) c*d	\$39,853,889.22

Fuente: Elaboración propia con base en Segura-Trujillo e Iñiguez-Dávalos (2023).

Aunado a lo anterior, los murciélagos sirven como reguladores de especies que pueden ocasionar enfermedades a los seres humanos como el mosquito que transmite el dengue. Asimismo, brindan un servicio invaluable en cuanto a fertilización de plantas a través de su excremento, conocido como guano (BioHuerto, 2014), el cual constituye un producto orgánico, versátil y rico en nitratos (que ayudan al crecimiento de las plantas), compuestos de fósforo (para la recuperación del suelo) y fungicidas (para luchar contra las enfermedades de los cultivos brindando de esta manera beneficios adicionales gracias a las concentraciones de amoníaco). Ello representa un costo evitado para los agricultores y para el sector salud, lo cual resulta en un beneficio para la sociedad.

Resultados

Derivado del análisis de los servicios ecosistémicos en tres áreas naturales protegidas, se obtiene lo siguiente:

- La conservación del APRN Lago de Tláhuac-Xico y de la utilización del sistema agrícola especificado trae consigo un rendimiento mayor en cuanto a la productividad de la mayoría de los cultivos producidos en la Alcaldía Tláhuac. Específicamente para el año de 2023, el valor monetario que deriva directamente de dicho excedente productivo fue de \$ 3,947,228.29.
- Los beneficios por servicios de polinización que son provistos por murciélagos a los cultivos de pitahaya aledaños a la RB Sian Ka'an son de \$106,751,892, lo cual representa 7,117 toneladas de pitahaya, en donde los murciélagos del ANP juegan un papel relevante.
- El beneficio total por servicios de control de plagas asociados a los murciélagos en la superficie agropecuaria de la RB Balam Kú se estima en \$39,853,889.22 anuales, sin contar los beneficios asociados a los costos evitados en salud por control de insectos vectores de enfermedades para humanos.

Por lo tanto, la preservación de los ecosistemas de las áreas naturales protegidas y los servicios ecosistémicos que ellas proveen genera beneficios al interior y al exterior de estas zonas, lo cual impulsa la productividad de los productos agrícolas como una suerte de subsidio verde.

Conclusiones

Los aspectos culturales e institucionales son relevantes para evitar (o favorecer) la presencia de fenómenos de sobreexplotación de recursos. En el caso de las áreas naturales protegidas, sus decretos de creación y sus programas de manejo, en caso de contar con ellos, delimitan los aspectos institucionales sobre los que se regirá la actividad de los agentes económicos en su interior con fines de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

En el presente trabajo, se analizaron tres casos de estudio sobre servicios ecosistémicos relacionados con la actividad agrícola. Para el caso del APRN Lago de Tláhuac-Xico, se encontró que los principales cultivos producidos en el ANP se producen con productividades por arriba del promedio de la Ciudad de México; en lo que respecta a la RB Sian Ka'an, se encontró que los murciélagos en su interior benefician al 82% de las zonas agrícolas del municipio de Felipe Carrillo Puerto; y en lo que compete a la RB Balam Kú, el control de plagas de los murciélagos insectívoros del Volcán de los Murciélagos provee beneficios de 38 millones de pesos anuales. Estos hallazgos permiten reafirmar la importancia económica de la conservación de ecosistemas de relevancia en el país.

Sin embargo, el valor económico de los servicios ecosistémicos de la actividad agrícola debe vincularse a esquemas de financiamiento que permita potenciar los productos agrícolas en el mercado: al tratarse de métodos productivos diferentes a la producción industrial en masa, existe la posibilidad de realizar gestiones de marca para diferenciar estos productos y promoverlos en mercados independientes. Dicho de otra manera, el valor añadido de estos productos se encuentra en la utilización de técnicas productivas sustentables y/o tradicionales y en la incorporación de servicios ecosistémicos basados en la preservación de los ecosistemas y especies que los proveen.

En el área de las finanzas, por ejemplo, se han comenzado a incorporar los factores ambientales, sociales y de gobernanza (ESG, por sus siglas en inglés) en la colocación de créditos. De este modo, los bancos incorporan los riesgos asociados a cada uno de estos factores y reajustan las tasas de interés según sea el caso. En tal sentido, los productos generados en áreas naturales protegidas cuentan con un riesgo bajo en lo que a los factores ESG refiere: en la parte ambiental, tiene el respaldo institucional de la regulación federal de área natural protegida, reflejado en su decreto y programa de manejo, según sea el caso; en cuanto al factor social, el establecimiento de un ANP se da bajo el consenso social, desde una lógica de inclusividad y respeto a las comunidades originarias y afrodescendientes; y en cuanto al aspecto de gobernanza, el eje rector es el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en conjunción con las estructuras comunitarias de organización social. Por lo tanto, las ANP constituyen sitios idóneos para la obtención de dichos créditos pues, además de ser de bajo riesgo considerando los factores ESG, poseen servicios ecosistémicos con valores de relevancia que pueden ser útiles como garantías de financiamiento.

Bibliografía

- Acosta, G., Jiménez, B. y Corona, E. 2024. Chinampas arqueológicas. Historia de una tecnología hidráulica. *Arqueología Mexicana*.
- Arnone, I. S., E. Trajano, A. Pulchério-Leite y F. D. C. Passos. 2016. Long-distance movement by a great fruit-eating bat, *Artibeus lituratus* (Olfers, 1818), in southeastern Brazil (Chiroptera, Phyllostomidae) evidence for migration in Neotropical bats. *Biota Neotropica* 16: e0026.
- Banxico. 2025. Tipo de cambio promedio del periodo – (CF86). Tipo de cambio para solventar obligaciones pagaderas en moneda extranjera-Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF86&locale=es>. Fecha de consulta: 04 de marzo de 2025.
- Barinaga-Rementería, I., & Etxano, I. 2016. La sostenibilidad en la planificación territorial: ¿Sostenibilidad débil o sostenibilidad fuerte? Obtenido de International Conference on Regional Science: <https://old.reunionesdeestudiosregionales.org/Santiago2016/htdocs/pdf/p1728.pdf>. Fecha de consulta: 15 de enero de 2024.
- BatFriendly. 2015. Murciélagos. Disponible en: <https://www.batfriendly.org/murcielagos/>. Fecha de consulta: 12 de abril de 2025.
- BioHuerto. 2014. Guano de murciélago de Indonesia. Disponible en: <https://www.biohuerto.es/blog/guano-de-murcielago-de-indonesia/>. Fecha de consulta: 24 de enero de 2024.
- Bontadina, F., Schoefield, H., Naef-Daenzer, B. 2002. Radio-tracking reveals that lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*) forage in woodland. *Journal of Zoology*. 258: 281-290.
- Camacho, A. 2023. Instituciones y medioambiente: Rentas por contaminar e incentivos institucionales para contrarrestarlas. Tesis para obtener el título de Licenciado en Economía. Facultad de Economía-Universidad Nacional Autónoma de México.
- CONANP. 2015. Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Rerserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/97_libro_pm.pdf. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- CONANP. 2023. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Balam Kú. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: <https://www.conanp.gob.mx/pdf/separata/EPJ-RB-BalamKu.pdf>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- DSG. 2023. Panorama de la frontera agrícola Quintana Roo. Dirección de Soluciones Geoespaciales-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/859626/Panorama_FA_2023_QROO.pdf. Fecha de consulta: 30 de marzo de 2025.
- Galindo, L. y Basurto, S. 2021. Valoración monetaria del servicio de polinización en México. Informe del proyecto NCAVES. División de Estadística de las Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Nueva York.
- Garabiza, B., Sánchez, J. y Casanova, A. 2017. La internalización de las externalidades empresariales en Ecuador. RES NON VERBA. Pp 47-64.
- Hardin, G. 1968. The Tragedy of Commons. *Science*. 162. Pp 1243-1248.
- Hernández, T. 2008. Breve exposición de las contribuciones de Georgescu Roegen a la economía ecológica y un comentario crítico. *Argumentos*, 35-52.
- Hernández-Pérez, E. 2020. Balam-Kin y Balam-Kú: Tesoros desconocidos de la Selva Maya. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338612063_Balam-Kin_y_Balam-Ku_Tesoros_desconocidos_de_la_Selva_Maya. Fecha de consulta: 13 de abril de 2025.
- INEGI. 2021. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2025.
- INEGI. 2025. Índice General. Índice Nacional de Precios al Consumidor. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/calculadorainflacion.aspx>. Fecha de consulta: 04 de marzo de 2025.
- INIFAP. 2021.Pitahaya, cultivo no tradicional con alta demanda en el mundo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en: <https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/pitahaya-cultivo-no-tradicional-con-alta-demanda-en-el-mundo?idiom=es>. Fecha de consulta: 14 de abril de 2025.
- Lara, D. N. E., J. L. Reyes, M. G. Hidalgo y C. A. López. 2023. Mexican terrestrial mammals in the anthropocene. En: *Diversity and Conservation*. En: R.W. Jones, C.P. Ornelas-García, R. Pineda-López y F. Álvarez. (Eds.) *Mexican Fauna in the Anthropocene*. Springer, Cham. pp. 215-235.
- Mankiw, G. 2012. Principios de economía. Sexta Edición. Cengage Learning.
- Méndez, C. y Coello, A. 2016. El cultivo de la pitahaya. Servicio Técnico de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo de Tenerife. Disponible en: https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_624_pitaya.pdf. Fecha de consulta: 18 de abril de 2025.
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, M. y Alejandro, C. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*.
- Nicholson, W. 2008. Teoría microeconómica: Principios y ampliaciones. Novena Edición. Cengage Learning. México.
- Ostrom, E. 1990. El gobierno de los bienes comunes: La evolución de las instituciones de acción colectiva. México. Fondo de Cultura Económica.
- Pérez, M. 2012. Conceptualización sobre el Desarrollo Sostenible: operacionalización del concepto para Colombia. *Punto de vista*. 139-158.
- SADER. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/. Fecha de consulta: 18 de abril de 2025.
- SADER-SEMARNAT. 2021. Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores (ENCUSP). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/629651/ENCUSP_calidad_media_corregido.pdf. Fecha de consulta: 24 de marzo de 2025.
- Saldaña-Vázquez, R. A., M. C. MacSwiney G., B. Bolívar-Cimé, R. Ávila-Flores, E. P- Gómez-Ruiz e I. L- López-Cuamatzi. 2023. Mexican Bats: Threats in the Anthropocene. En: R.W. Jones, C.P. Ornelas-García, R. Pineda-López y F. Álvarez. (Eds.) *Mexican Fauna in the Anthropocene*. Springer, Cham. pp: 237-265
- Segura-Trujillo, C. e Iñiguez-Dávalos, L. 2023. Murciélagos, socios para el control de plagas. *Therya ixmana*. 2(1): 40-41. Disponible en: <https://mastoziologiamexicana.com/ojs/index.php/theryaixmana/article/download/308/309>. Fecha de consulta: 28 de marzo de 2025.

- Segura-Trujillo, C. e Iñiguez-Dávalos, L. 2023. Murciélagos, socios para el control de plagas. *Therya ixmana*. 2(1): 40-41. Disponible en: <https://mastoziologiamexicana.com/ojs/index.php/theryaxmana/article/download/308/309>. Fecha de consulta: 13 de abril de 2025.
- Solow, R. 1973. Intergenerational Equity and Exhaustible Resources. *The Review of Economic Studies* 41(5). 29-45.
- Tello, M. 2017. Análisis de equilibrio general: modelos y aplicaciones para países en desarrollo. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Vargas-Contreras, J., G. Escalona, D. Guzmán, O. G. Retana, H. Zarza y G. Ceballos. 2014. Los mamíferos del estado de Campeche. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época* 4 (1): 60-74.
- Varian, H. 2010. *Microeconomía intermedia: un enfoque actual*. Octava edición. Barcelona: Antoni Bosch.

CAPÍTULO DOCE

VALORACIÓN INTEGRAL DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ASOCIADOS A LA MELIPONICULTURA EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA RÍA CELESTÚN: EL CASO DE ISLA ARENA, CAMPECHE.

Dr. Felipe Ángel Alvarado Salgado¹

Mtra. Wendy Argentina de Jesús Cetina López y Mtra. Elsy Verónica Martín Calderón²

Mtro. Benhur Ortegon Caballero³

Resumen

La meliponicultura, práctica ancestral maya de cría de abejas sin aguijón, representa una estrategia integral para la conservación biocultural y el desarrollo sostenible en áreas naturales protegidas. Esta investigación valora los servicios ecosistémicos asociados a la meliponicultura en Isla Arena, comunidad ubicada en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, mediante un enfoque metodológico mixto que integra las dimensiones biofísica, económica y sociocultural. Los resultados identifican 56 especies de plantas melíferas pertenecientes a 31 familias botánicas, principalmente nativas (92.9%), evidencian el potencial económico para la diversificación de ingresos, y revelan una significativa participación comunitaria con predominio femenino (87%). La evaluación de sustentabilidad arrojó un índice global de 0.68 (nivel medio-alto), destacando la dimensión ambiental (0.72) como la más fortalecida. El estudio demuestra que la meliponicultura contribuye simultáneamente a la polinización de la flora nativa, la generación de ingresos complementarios y el fortalecimiento de las comunidades mayas, alineándose con múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se proponen estrategias para su integración en políticas de conservación, esquemas de financiamiento e incentivos, así como directrices para la replicabilidad del modelo en otras comunidades dentro de áreas naturales protegidas.

Palabras clave: Meliponicultura, servicios ecosistémicos, conservación biocultural, desarrollo sostenible, comunidades mayas.

Abstract

Meliponiculture, the ancestral Mayan practice of stingless bee breeding, represents an integral strategy for biocultural conservation and sustainable development in protected natural areas. This research assesses the ecosystem services associated with meliponiculture in Isla Arena, a community located in the Ría Celestún Biosphere Reserve, through a mixed methodological approach that integrates biophysical, economic, and sociocultural dimensions. The results identify 56 melliferous plant species belonging to 31 botanical families, predominantly native (92.9%), demonstrate the economic potential for income diversification, and reveal significant community participation with female predominance (87%). The sustainability assessment yielded a global index of 0.68 (medium-high level), highlighting the environmental dimension (0.72) as the strongest. The study demonstrates that meliponiculture simultaneously contributes to native flora pollination, complementary income generation, and strengthening of Mayan communities, aligning with multiple Sustainable Development Goals. Strategies are proposed for its integration into conservation policies, financing schemes and incentives, as well as guidelines for the replicability of the model in other communities within protected natural areas.

Keywords: Meliponiculture, ecosystem services, biocultural conservation, sustainable development, Mayan communities.

1 Profesor-Investigador del Sistema de Innovación Tecnológica, Desarrollo de Competencias y Gestión de Sistemas de Calidad del Tecnológico Nacional de México, Campus Calkiní. Correo: falvarez@itescam.edu.mx

2 Profesoras de Procesos de Producción Regional del Tecnológico Nacional de México, Campus Calkiní. Correos: evmartin@itescam.edu.mx y wacetina@itescam.edu.mx

3 Director General de Agroindustria Honey Kaab. Correo: benhur.ortegon23@gmail.com

Introducción

La meliponicultura, o cría de abejas nativas sin aguijón, representa una práctica ancestral profundamente arraigada en la cultura maya de la península de Yucatán. Esta actividad, que se remonta a tiempos prehispánicos, ha funcionado históricamente como un sistema de manejo sostenible de recursos naturales que vincula las dimensiones ecológicas, económicas y socioculturales (González-Acereto et al., 2018).

En el contexto particular de la península de Yucatán, la meliponicultura se ha centrado tradicionalmente en el manejo de la abeja *Melipona beecheii*, conocida localmente como “Xunán Kaab” o “colel cab” (señora abeja), utilizando técnicas de manejo transmitidas a través de generaciones (Quezada-Euán et al., 2018). Los mayas desarrollaron un sofisticado sistema de manejo de estas abejas, utilizando troncos huecos (“jobones”) específicamente preparados para albergar colonias, dentro de estructuras tradicionales llamadas “najil kaab” (casa de las abejas) (Villanueva-Gutiérrez et al., 2013).

La abeja *Melipona beecheii* tiene una relevancia cultural excepcional en la cosmovisión maya. No sólo era considerada sagrada, sino que representaba un vínculo entre el mundo natural y espiritual. Su miel, significativamente distinta a la de la abeja europea (*Apis mellifera*) por sus propiedades organolépticas y medicinales, constituía un elemento fundamental en rituales, ceremonias religiosas y prácticas médicas tradicionales (Sotelo-Santos et al., 2018). Los registros arqueológicos y etnohistóricos revelan la importancia de esta práctica a través de representaciones iconográficas, menciones en códices como el Madrid o Tro-Cortesiano, y restos de estructuras meliponícolas en sitios arqueológicos (Žračka et al., 2018).

Desde la perspectiva ecológica, las abejas *Melipona beecheii* desempeñan un papel crucial como polinizadores de especies vegetales nativas, contribuyendo significativamente al mantenimiento de la biodiversidad en ecosistemas tropicales y subtropicales (Quezada-Euán, 2018). Su actividad polinizadora garantiza la reproducción de numerosas especies vegetales, algunas de ellas endémicas o en situación de vulnerabilidad, fortaleciendo así la resiliencia de estos ecosistemas frente a perturbaciones ambientales (Maia-Silva et al., 2020).

Sin embargo, esta práctica tradicional enfrenta actualmente desafíos significativos que amenazan su continuidad. La deforestación y fragmentación de hábitats naturales han reducido drásticamente la disponibilidad de recursos florales y sitios de anidación para las abejas meliponas (Villanueva-Gutiérrez et al., 2013). La expansión agrícola, particularmente de monocultivos como soya y palma, junto con el uso intensivo de agroquímicos, ha tenido efectos negativos directos sobre las poblaciones de abejas nativas (Meléndez et al., 2018).

El cambio climático representa otra amenaza sustancial, alterando los patrones de floración y afectando la disponibilidad de recursos para las abejas meliponas. Estudios recientes muestran que la variabilidad climática está modificando los ciclos fenológicos de diversas especies vegetales, desincronizando la relación entre las abejas y sus fuentes de alimento (Giannini et al., 2020). Los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías prolongadas o lluvias torrenciales, también afectan la supervivencia de las colonias y la producción de miel.

Paralelamente, se evidencia una preocupante ruptura en la transmisión intergeneracional del conocimiento tradicional asociado a la meliponicultura. La migración rural-urbana, el desinterés de las nuevas generaciones por actividades tradicionales consideradas poco rentables, y la globalización cultural han conducido a una erosión significativa del conocimiento ecológico tradicional (Arnold et al., 2018). Como consecuencia, técnicas ancestrales de manejo, identificación de especies melíferas importantes y prácticas sostenibles desarrolladas durante siglos están en riesgo de perderse.

Este escenario de vulnerabilidad se hace particularmente evidente en las áreas naturales protegidas de la península de Yucatán, como la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, donde la meliponicultura podría constituir una estrategia efectiva para la conservación biocultural. La valoración integral de los servicios ecosistémicos asociados a esta práctica tradicional representa una oportunidad para desarrollar modelos de gestión que armonicen la conservación de la biodiversidad con el bienestar humano (Toledo et al., 2018).

En este contexto, el presente estudio se propone realizar una valoración integral (biofísica, económica y social) de los servicios ecosistémicos proporcionados por la meliponicultura en la comunidad de Isla Arena, Calkiní, Campeche, ubicada en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún. Específicamente, se busca:

1. Caracterizar la flora melífera disponible para las abejas *Melipona beecheii* en la zona de estudio, analizando su diversidad, distribución y patrones fenológicos.
2. Evaluar el potencial económico de la meliponicultura como actividad productiva sostenible, considerando aspectos como producción de miel, diversificación de ingresos y oportunidades de mercado.
3. Analizar la dimensión sociocultural de la meliponicultura, con énfasis en la participación comunitaria, el papel de las mujeres y la transmisión de conocimientos tradicionales.

4. Determinar la sustentabilidad integral del modelo de meliponicultura implementado, mediante un sistema de indicadores que integre las dimensiones ambiental, económica y sociocultural.
5. Generar recomendaciones para la integración de la meliponicultura en estrategias de conservación y desarrollo local sostenible en áreas naturales protegidas.

Los resultados de esta investigación proporcionarán información valiosa para el diseño e implementación de políticas públicas orientadas a la conservación biocultural y el desarrollo sostenible en áreas naturales protegidas, destacando el potencial de las prácticas productivas tradicionales como la meliponicultura para la generación de beneficios múltiples en términos ambientales, económicos y socioculturales.

MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Servicios ecosistémicos y su valoración integral

Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Estos servicios han sido tradicionalmente clasificados en cuatro categorías: servicios de provisión (productos obtenidos directamente de los ecosistemas), servicios de regulación (beneficios obtenidos de la regulación de procesos ecosistémicos), servicios culturales (beneficios no materiales) y servicios de soporte (procesos necesarios para la producción de otros servicios) (Balvanera et al., 2017).

En el contexto de la meliponicultura, esta práctica se relaciona directamente con múltiples servicios ecosistémicos. El más evidente es el servicio de polinización, considerado un servicio de regulación esencial para el mantenimiento de la biodiversidad y la productividad de ecosistemas naturales y agrícolas (Potts et al., 2016). Las abejas sin aguijón, como la *Melipona beecheii*, son polinizadores eficientes de numerosas especies vegetales nativas y cultivadas, contribuyendo significativamente a la reproducción de estas plantas y, por ende, al funcionamiento del ecosistema (Quezada-Euán et al., 2018).

Desde la perspectiva de los servicios de provisión, la meliponicultura proporciona productos directos como miel, polen, propóleos y cera, todos ellos con alto valor nutritivo, medicinal y comercial (Vit et al., 2018). La miel de *Melipona beecheii*, en particular, posee propiedades distintivas en términos de composición química, sabores y propiedades terapéuticas, lo que le confiere un valor especial en mercados diferenciados (Ramírez et al., 2017).

En cuanto a los servicios culturales, la meliponicultura representa un patrimonio biocultural significativo, vinculado a la identidad, conocimientos tradicionales y cosmovisión de los pueblos mayas (Toledo & Barrera-Bassols, 2021). Esta práctica ancestral encarna valores estéticos, espirituales y educativos, además de constituir un atractivo para el ecoturismo y turismo cultural (Bertoni et al., 2017).

La valoración integral de estos servicios ecosistémicos requiere un enfoque que trascienda la mera cuantificación monetaria, incorporando dimensiones biofísicas, económicas y socioculturales en un marco holístico (Pascual et al., 2017). Este enfoque reconoce la pluralidad de valores y perspectivas asociadas a los servicios ecosistémicos, y busca integrarlos en procesos de toma de decisiones más inclusivos y sostenibles (Chan et al., 2016).

La valoración biofísica se centra en cuantificar procesos ecológicos y funciones ecosistémicas, como la disponibilidad de recursos florales, la efectividad de la polinización o la dinámica poblacional de las abejas (Díaz et al., 2018). La valoración económica busca expresar en términos monetarios los beneficios derivados de estos servicios, considerando tanto valores de uso directo (como la producción de miel) como valores indirectos o de no uso (Costanza et al., 2017). Por su parte, la valoración sociocultural explora las dimensiones no materiales de los servicios ecosistémicos, incluyendo aspectos identitarios, simbólicos y espirituales (Arias-Arévalo et al., 2018).

Meliponicultura como estrategia de conservación biocultural

La conservación biocultural es un enfoque que reconoce las conexiones inextricables entre la diversidad biológica y la diversidad cultural, y busca estrategias que las fortalezcan simultáneamente (Gavin et al., 2018). Este enfoque parte de la premisa de que muchos paisajes y ecosistemas de alto valor para la conservación han sido modelados por prácticas humanas a lo largo de siglos o milenios, creando interdependencias complejas entre sistemas sociales y ecológicos (Sterling et al., 2017).

La meliponicultura representa un caso paradigmático de práctica biocultural, donde el conocimiento ecológico tradicional de los pueblos mayas ha permitido el desarrollo de técnicas de manejo sostenible que contribuyen a la conservación de la biodiversidad (Reyes-García et al., 2019). La cría de abejas *Melipona beecheii* no solo preserva esta especie nativa, sino que también promueve la conservación de la vegetación nativa que les proporciona alimento y hábitat, creando un ciclo virtuoso de beneficios mutuos (Vides-Borrell et al., 2020).

El marco conceptual de la conservación biocultural ofrece una perspectiva valiosa para entender y promover la meliponicultura como estrategia de conservación que integra objetivos ecológicos y socioculturales (Grau-Satorras et al., 2018). Este enfoque reconoce que la protección efectiva de ecosistemas biodiversos como los de la península de Yucatán requiere la participación activa de las comunidades locales y la valoración de sus conocimientos tradicionales (Delgado et al., 2019).

En el contexto de áreas naturales protegidas como la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, la meliponicultura puede funcionar como un puente entre los objetivos de conservación de la biodiversidad y las necesidades de desarrollo sostenible de las comunidades locales (García-Frapolli et al., 2018). Este tipo de prácticas productivas tradicionales, cuando se implementan adecuadamente, pueden generar incentivos económicos para la conservación del bosque, al tiempo que fortalecen el tejido social y la identidad cultural (Weaver & Lawton, 2017).

Enfoque de género y desarrollo local sostenible

El desarrollo local sostenible se concibe como un proceso de transformación económica, social y ambiental que busca mejorar las condiciones de vida de la población local sin comprometer las opciones de las generaciones futuras (Sachs et al., 2019). Este enfoque enfatiza la participación de los actores locales en la identificación de necesidades y oportunidades, así como en la toma de decisiones sobre las estrategias de desarrollo a implementar (Pike et al., 2016).

En este marco, la perspectiva de género emerge como una dimensión fundamental para garantizar la equidad y efectividad de las iniciativas de desarrollo local sostenible (Agarwal, 2017). El enfoque de género reconoce las diferencias y desigualdades entre hombres y mujeres en cuanto a roles, responsabilidades, acceso a recursos y poder de decisión, y busca estrategias para superarlas (Moreno & Jayner, 2016).

En el ámbito específico de la meliponicultura, diversos estudios han documentado el papel destacado que las mujeres han desempeñado tradicionalmente en esta actividad en comunidades mayas (Vázquez-Canché et al., 2015). Las mujeres suelen ser depositarias de conocimientos específicos sobre el manejo de las colmenas, la cosecha de miel y sus usos medicinales y culinarios (Contreras-Ucán et al., 2020). Sin embargo, también enfrentan barreras estructurales como el limitado acceso a recursos productivos, capacitación técnica y mercados (Torres-Avilez et al., 2016).

La incorporación del enfoque de género en proyectos de meliponicultura puede contribuir significativamente al empoderamiento económico de las mujeres, al fortalecimiento de su autoestima y liderazgo, y a la transformación de relaciones de género inequitativas (López-Camacho et al., 2018). Asimismo, puede enriquecer estos proyectos al integrar perspectivas y conocimientos complementarios que mejoren su eficacia y sostenibilidad (Ayala-Arcipreste et al., 2017).

Este marco conceptual integrado, que articula los servicios ecosistémicos, la conservación biocultural y el enfoque de género, proporciona una base sólida para analizar y valorar la meliponicultura como estrategia de desarrollo local sostenible en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún, particularmente en la comunidad de Isla Arena. Este enfoque reconoce la complejidad y multidimensionalidad de las interacciones entre sistemas sociales y ecológicos, y busca estrategias que generen beneficios sinérgicos en términos ambientales, económicos y socioculturales (Tengö et al., 2017).

METODOLOGÍA

Área de estudio

El estudio se realizó en la comunidad de Isla Arena, ubicada en el municipio de Calkiní, Campeche, México (20°41'26" N, 90°27'10" O), dentro de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún (RBRC). Esta reserva fue decretada como Área Natural Protegida federal el 27 de noviembre de 2000, abarcando una superficie total de 81,482 hectáreas distribuidas entre los estados de Yucatán y Campeche (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2018).

Isla Arena es una localidad costera con aproximadamente 968 habitantes, de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2020). La comunidad se caracteriza por su ubicación estratégica entre dos importantes áreas naturales protegidas: la Reserva de la Biosfera Ría Celestún al norte y la Reserva de la Biosfera Los Petenes al sur, lo que le confiere una particular relevancia ecológica (Peña-Puch et al., 2022).

El clima predominante en la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw0), según la clasificación de Köppen modificada por García (2018). La temperatura media anual oscila entre 26-28°C y la precipitación promedio anual es de aproximadamente 1,000 mm. La vegetación característica incluye manglar, vegetación de duna costera, selva baja caducifolia y vegetación secundaria (Hernández-Félix et al., 2017).

Enfoque metodológico mixto

La investigación implementó un enfoque metodológico mixto secuencial exploratorio, combinando métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral del fenómeno estudiado (Creswell & Creswell, 2018). Esta aproximación permitió triangular la información obtenida a través de diferentes técnicas, enriqueciendo la interpretación de los resultados y aumentando la validez del estudio.

En la fase cuantitativa, se aplicaron encuestas estructuradas a una muestra de 192 participantes de la comunidad, seleccionados mediante un muestreo probabilístico estratificado, con un error muestral de $\pm 5\%$ y un nivel de confianza del 95%. La muestra incluyó 130 mujeres (67.8%) y 62 hombres (32.2%), con edades comprendidas entre 18 y 56 años. Los estratos considerados fueron amas de casa (45.83%), estudiantes (20.31%), empleados (25%) y desempleados (8.86%).

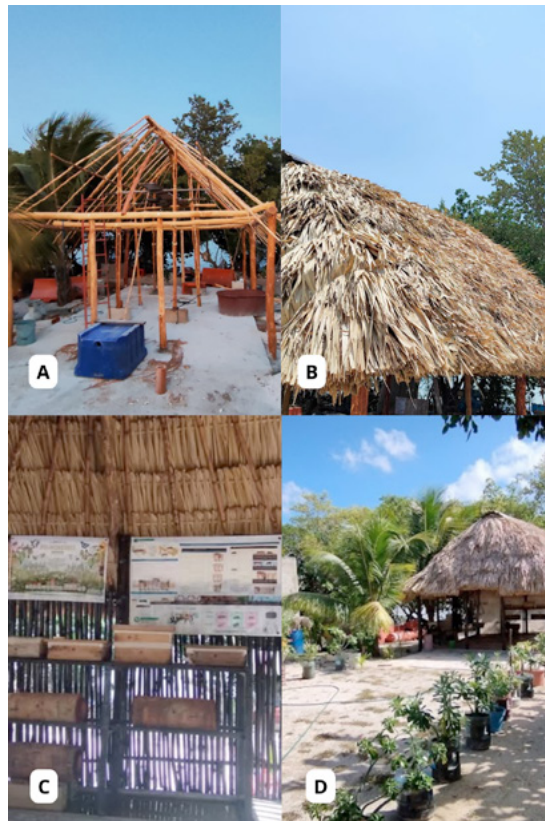
En la fase cualitativa, se realizaron 45 entrevistas a profundidad con informantes clave, principalmente meliponicultores tradicionales (26 mujeres y 19 hombres), utilizando un guion semiestructurado que exploró aspectos relacionados con el manejo tradicional de las abejas meliponas, usos de la miel, problemáticas y perspectivas de la actividad. Adicionalmente, se desarrollaron sesiones de observación participante en los meliponarios de la comunidad, documentando las prácticas de manejo mediante registros fotográficos y audiovisuales, previa autorización de los participantes.

La integración de datos cuantitativos y cualitativos se realizó mediante un análisis de convergencia paralela, donde los resultados de ambas aproximaciones se analizaron por separado y posteriormente se compararon e integraron para generar una interpretación más completa del fenómeno estudiado (Schoonenboom & Johnson, 2017).

Inventario florístico y monitoreo fenológico

Se realizó un inventario florístico exhaustivo para identificar las especies de plantas con potencial melífero en la zona. El trabajo de campo se desarrolló entre julio de 2023 y agosto de 2024, cubriendo un ciclo anual completo de fenología vegetal. Se establecieron transectos lineales de 100 metros en los diferentes tipos de vegetación presentes en un radio de 1.5 kilómetros alrededor del meliponario experimental (véase Imagen 1), siguiendo la metodología propuesta por Matteucci y Colma (2017).

Imagen 1. Implementación del meliponario comunitario “Naail Cab” en Isla Arena, Campeche



Fuente: Ortegón Caballero (2025).

En cada transecto, se establecieron parcelas de 10 × 10 metros cada 20 metros, registrando todas las especies vegetales en floración. Para cada especie identificada, se documentó:

- Nombre científico
- Familia botánica
- Nombre común en español
- Nombre en maya yucateco
- Hábito de crecimiento (árbol, arbusto, hierba, trepadora)
- Origen (nativa, introducida, endémica)
- Tipo de vegetación donde se encontró

La identificación taxonómica se realizó mediante claves especializadas y consulta con expertos del Herbario Regional del Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Adicionalmente, se utilizaron guías de campo específicas para la flora de la Península de Yucatán (Arellano-Rodríguez et al., 2018; Carnevali et al., 2019).

Para el monitoreo fenológico, se realizaron visitas quincenales a las parcelas establecidas, registrando las especies en floración y cuantificando la intensidad de floración mediante una escala de 0 a 4, donde 0 representa ausencia de floración y 4 indica floración máxima, de acuerdo con la metodología propuesta por Fournier (2019). Este seguimiento permitió determinar los patrones temporales de disponibilidad de recursos florales para las abejas meliponas a lo largo del año.

La información sobre los nombres en maya y usos tradicionales de las plantas se obtuvo mediante entrevistas etnobotánicas con pobladores locales, siguiendo protocolos éticos de investigación con comunidades indígenas, como el consentimiento informado previo y la compensación adecuada por el conocimiento compartido (Alexiades, 2018).

Evaluación de sustentabilidad

Para determinar la factibilidad ambiental, sociocultural y económica del modelo de meliponicultura propuesto para la comunidad de Isla Arena, se integraron dos metodologías complementarias que permitieron una medición integral de la sustentabilidad:

1. Protocolo para la Evaluación de la Sustentabilidad (PES):

Este método cuali-cuantitativo desarrollado por De Calvo (2019) permitió diagnosticar la sustentabilidad de la meliponicultura a través de tres dimensiones con sus respectivos indicadores:

a) Dimensión ambiental: Evaluación de prácticas de manejo que afectan la preservación de recursos naturales como suelo, agua y biodiversidad. Los indicadores incluyeron:

- Uso de agroquímicos y sus impactos
- Prácticas de conservación de suelos
- Manejo de desechos orgánicos e inorgánicos
- Recursos hídricos disponibles
- Conservación de hábitats para la biodiversidad

b) Dimensión sociocultural: Grado de bienestar, cohesión social y aceptación comunitaria de tecnologías productivas sustentables. Los indicadores abarcaron:

- Calidad de vida
- Identidad y arraigo cultural
- Asociatividad
- Equidad
- Acceso a servicios públicos
- Adopción de prácticas sustentables

c) Dimensión económica: Viabilidad económica del modelo de meliponicultura. Los indicadores comprendieron:

- Costos de instalación del meliponario
- Equipamiento melipónico
- Capacitación
- Vinculación a las rutas turísticas
- Rentabilidad y diversificación de ingresos

La evaluación de cada indicador se realizó mediante una escala de cinco niveles (1-5), donde 1 representa el valor más bajo de sustentabilidad y 5 el más alto. Los datos se recopilaron a través de encuestas, entrevistas y observación directa. Los resultados de cada dimensión se representaron gráficamente en un diagrama de radar, permitiendo visualizar las fortalezas y debilidades del sistema.

2. Índice de Desarrollo Sostenible para Comunidades Rurales:

Complementariamente, se aplicó la metodología propuesta por Sepúlveda (2018) para construir un índice cuantitativo global con sub-índices ambiental, sociocultural y económico. Esta metodología permitió estandarizar los indicadores en una escala de 0 a 1, facilitando su comparación e integración.

El índice se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$S = (IS_{soc} + IS_{eco} + IS_{amb})/3$$

Donde:

S = Índice de Desarrollo Sostenible

IS_{soc} = Índice de Sustentabilidad Sociocultural

IS_{eco} = Índice de Sustentabilidad Económica

IS_{amb} = Índice de Sustentabilidad Ambiental

Los valores del índice se interpretaron según los siguientes umbrales:

0.80 - 1.00: Nivel alto de sustentabilidad

0.65 - 0.79: Nivel medio-alto de sustentabilidad

0.50 - 0.64: Nivel medio de sustentabilidad

0.35 - 0.49: Nivel medio-bajo de sustentabilidad

0.00 - 0.34: Nivel bajo de sustentabilidad

Desarrollo de capacidades técnicas y empoderamiento comunitario

El componente de desarrollo de capacidades técnicas se estructuró como un proceso participativo que integró saberes científicos y conocimientos tradicionales. Se implementó un programa de capacitación dirigido a 23 participantes locales (20 mujeres y 3 hombres), seleccionados por su interés en la meliponicultura y su potencial para convertirse en promotores comunitarios.

El programa comprendió tres fases principales:

- 1. Diagnóstico inicial de capacidades:** Se aplicó un cuestionario pre-capacitación para evaluar el nivel de conocimientos técnicos sobre meliponicultura. El instrumento constó de 15 preguntas cerradas que abarcaron aspectos como biología de las abejas sin aguijón, manejo de colmenas, cosecha de productos y sanidad apícola.
- 2. Implementación de capacitación:** Se desarrollaron módulos teórico-prácticos sobre:
 - Biología y taxonomía de abejas sin aguijón
 - Instalación y manejo de meliponarios
 - Reproducción de colonias
 - Cosecha y procesamiento de miel y otros productos
 - Prevención y control de plagas y enfermedades
 - Comercialización y valor agregado

Las sesiones combinaron presentaciones teóricas, demostraciones prácticas y talleres participativos, utilizando materiales didácticos adaptados culturalmente. Se estableció un meliponario demostrativo ("Najil Cab") con 14 colmenas (4 en jobones tradicionales y 10 en cajas tecnificadas) que sirvió como espacio de aprendizaje experimental.

- 3. Evaluación de impacto:** Se aplicó el mismo cuestionario al finalizar el programa para medir el incremento en conocimientos y habilidades. Adicionalmente, se realizaron entrevistas cualitativas para valorar cambios en actitudes, percepciones y empoderamiento.

El enfoque de empoderamiento comunitario se fundamentó en los principios de la educación popular y la investigación-acción participativa, promoviendo la horizontalidad en la construcción de conocimientos y el protagonismo de los participantes (Freire, 2018). Se prestó especial atención a la inclusión de mujeres y jóvenes, tradicionalmente marginados de procesos formativos técnicos, mediante horarios flexibles, servicios de cuidado infantil durante las sesiones y materiales adaptados a diferentes niveles educativos.

Todos los procedimientos metodológicos se realizaron con el consentimiento informado de los participantes y la aprobación de las autoridades comunitarias, respetando los protocolos éticos de investigación con comunidades indígenas y siguiendo las regulaciones establecidas por la CONANP para la realización de actividades de investigación en áreas naturales protegidas.

RESULTADOS

Valoración biofísica: diversidad florística, fenología y disponibilidad de recursos melíferos

Diversidad florística

El inventario florístico realizado en la comunidad de Isla Arena permitió identificar 56 especies de plantas con potencial melífero, pertenecientes a 31 familias botánicas. Las familias más representativas en términos de diversidad de especies fueron Asteraceae (8 especies), Fabaceae (4 especies), Malvaceae (4 especies), Boraginaceae (3 especies) y Arecaceae (3 especies). Esta diversidad florística constituye una base importante de recursos para las abejas meliponas (véase Imagen 1).

Las especies identificadas se clasificaron según sus hábitos de crecimiento, encontrándose una distribución de: hierbas (22 especies, 39.3%), arbustos (18 especies, 32.1%), árboles (11 especies, 19.6%), palmas (3 especies, 5.4%) y trepadoras herbáceas (2 especies, 3.6%). Esta diversidad de hábitos de crecimiento es particularmente relevante para las abejas meliponas, ya que proporciona recursos florales a diferentes alturas y en distintos microambientes.

El análisis de la distribución de origen de las especies reveló un predominio significativo de especies nativas (52 especies, 92.9%), complementadas por especies naturalizadas (2 especies, 3.6%), cultivadas (1 especie, 1.8%) y endémicas (1 especie, 1.8%). La alta proporción de especies nativas representa un indicador positivo para la conservación de la biodiversidad local y el mantenimiento de las interacciones ecológicas naturales.

Imagen 2. Plantas melíferas identificadas en Isla Arena, Campeche. *Sesuvium portulacastrum* A) planta, B) flor; *Suaeda linearis*, C) planta, D) flor; *Ruellia nudiflora*, E) planta, F) flor; *Lycium carolinianum*, G) planta, H) flor; *Tribulus cistoides*, I) planta, J) flor; *Acanthocereus horridus*, K) planta, L) flor; *Ipomoea pes-caprae* (L.) R. Br., M) planta, N) flor; *Ipomoea pes-caprae*, O) planta, P) flor; *Canavalia rosea* (Sw.) DC, Q) planta, R) flor; *Waltheria americana* L, S) planta, T) flor.



Fuente: Ortegón Caballero (2025).

Patrones fenológicos

El monitoreo fenológico realizado durante un ciclo anual completo (julio 2023 - agosto 2024) permitió identificar patrones temporales de disponibilidad de recursos florales para las abejas meliponas. Los resultados muestran que:

- El 25% de las especies (14) presentaron floración durante todo el año
- El 67.9% de las especies (38) florecieron principalmente durante la temporada seca (noviembre-abril)
- El 82.1% de las especies (46) florecieron durante la temporada de lluvias (mayo-octubre)

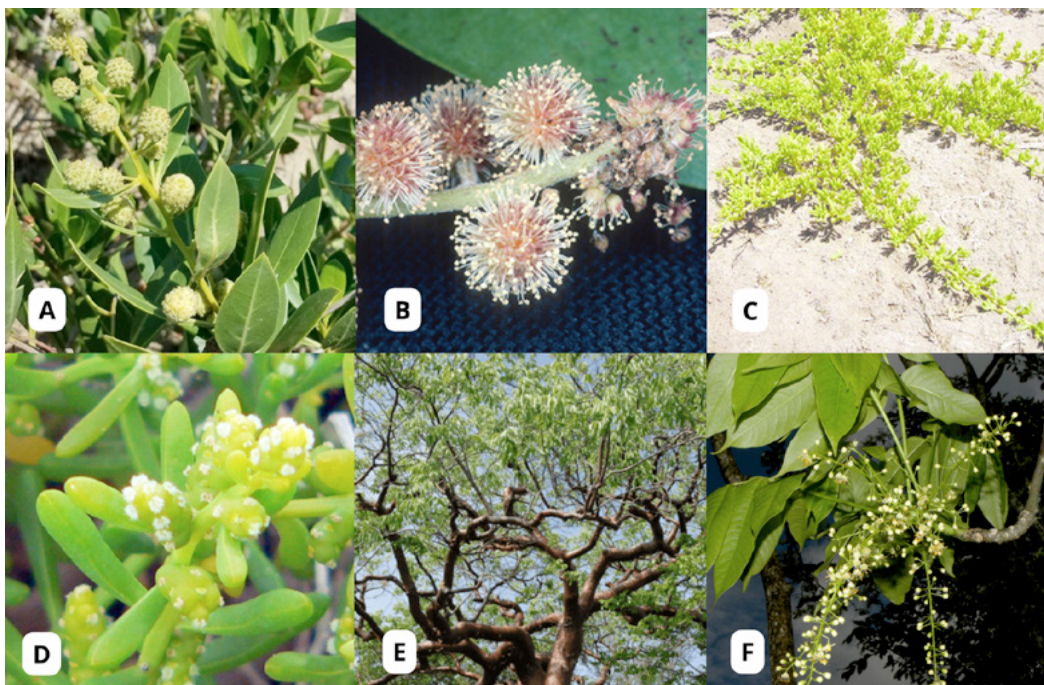
Los meses con mayor número de especies en floración fueron mayo (39 especies), junio (38 especies) y abril (37 especies), coincidiendo con el final de la temporada seca y el inicio de la temporada de lluvias. Por otro lado, los meses con menor número de especies en floración fueron agosto (27 especies), septiembre (28 especies) y julio (29 especies), lo que podría representar un período de relativa escasez de recursos para las abejas meliponas.

Especies melíferas clave

Se identificaron varias especies que, por su abundancia, período de floración extendido o preferencia por parte de las abejas meliponas, pueden considerarse como recursos clave para la meliponicultura en la zona (véase Imagen 2):

- *Coccoloba uvifera* (Uva de mar): Presenta floración durante todo el año, proporcionando una fuente constante de recursos para las abejas meliponas.
- *Tournefortia gnaphalodes* (Tabaquillo): Con floración extendida de febrero a noviembre, representa un recurso importante durante gran parte del año.
- *Borrhchia arborescens* (Margarita de mar): Florece de marzo a diciembre, contribuyendo significativamente a la disponibilidad de recursos durante los períodos de transición.
- *Conocarpus erectus* (Mangle botoncillo): Con floración de abril a julio, coincide con uno de los períodos de mayor actividad de las abejas meliponas.
- *Avicennia germinans* (Mangle negro): Florece de abril a julio, complementando los recursos disponibles durante este período crítico.

Imagen 3. Especies melíferas clave identificadas en Isla Arena, Campeche: *Conocarpus erectus*, A) planta, B) flor; *Batis marítima* L. C) planta, D) flor; *Bursera simaruba*, E) planta, F) flor.



Fuente: Ortegon Caballero (2025).

VALORACIÓN ECONÓMICA: POTENCIAL DE MERCADO, DIVERSIFICACIÓN DE INGRESOS

Potencial de mercado

El análisis del potencial de mercado para los productos derivados de la meliponicultura en Isla Arena reveló oportunidades significativas tanto en mercados locales como en nichos especializados. Los productos principales identificados fueron:

1. **Miel de Melipona beecheii:** Valorada por sus propiedades organolépticas y medicinales únicas. El precio promedio actual en mercados locales oscila entre \$800-1200 pesos mexicanos por litro, mientras que en mercados especializados puede alcanzar hasta \$1,500-2,000 pesos mexicanos por litro.
2. **Productos derivados con valor agregado:** Incluyen propóleos y productos procesados como jabones, cremas y ungüentos medicinales, con potencial para incrementar significativamente los ingresos generados.

Se identificaron diferentes canales de comercialización, cada uno con características específicas:

- Venta directa en la comunidad: Principalmente para uso medicinal local y consumo familiar, con limitado volumen de ventas, pero precios accesibles.
- Venta a visitantes y turistas: Representa una oportunidad creciente, especialmente vinculada al turismo cultural y de naturaleza en la región.
- Mercados regionales especializados: Principalmente en ciudades como Mérida, Campeche y Cancún, donde existe una creciente demanda de productos orgánicos y tradicionales.
- Mercados gourmet nacionales e internacionales: Con alto potencial, pero mayores exigencias en términos de calidad, presentación y certificaciones.

Diversificación de ingresos

El estudio identificó diversas estrategias para la diversificación de ingresos a partir de la meliponicultura:

1. **Desarrollo de productos con valor agregado:** Transformación de la miel y otros productos primarios en productos procesados con mayor valor de mercado, como complementos alimenticios, productos cosméticos y medicinales.
2. **Integración con actividades turísticas:** Desarrollo de experiencias de turismo vivencial centradas en la meliponicultura, incluyendo visitas guiadas a meliponarios, talleres de elaboración de productos derivados y experiencias gastronómicas.
3. **Servicios de capacitación y asesoría técnica:** Formación de promotores comunitarios capaces de ofrecer servicios de capacitación y asesoría a otras comunidades interesadas en implementar la meliponicultura.
4. **Venta de colmenas divididas:** Reproducción de colonias para su venta a otros meliponicultores, contribuyendo tanto a la conservación de la especie como a la generación de ingresos adicionales.

VALORACIÓN SOCIAL: PARTICIPACIÓN COMUNITARIA, TRANSMISIÓN DE CONOCIMIENTOS, EMPODERAMIENTO FEMENINO

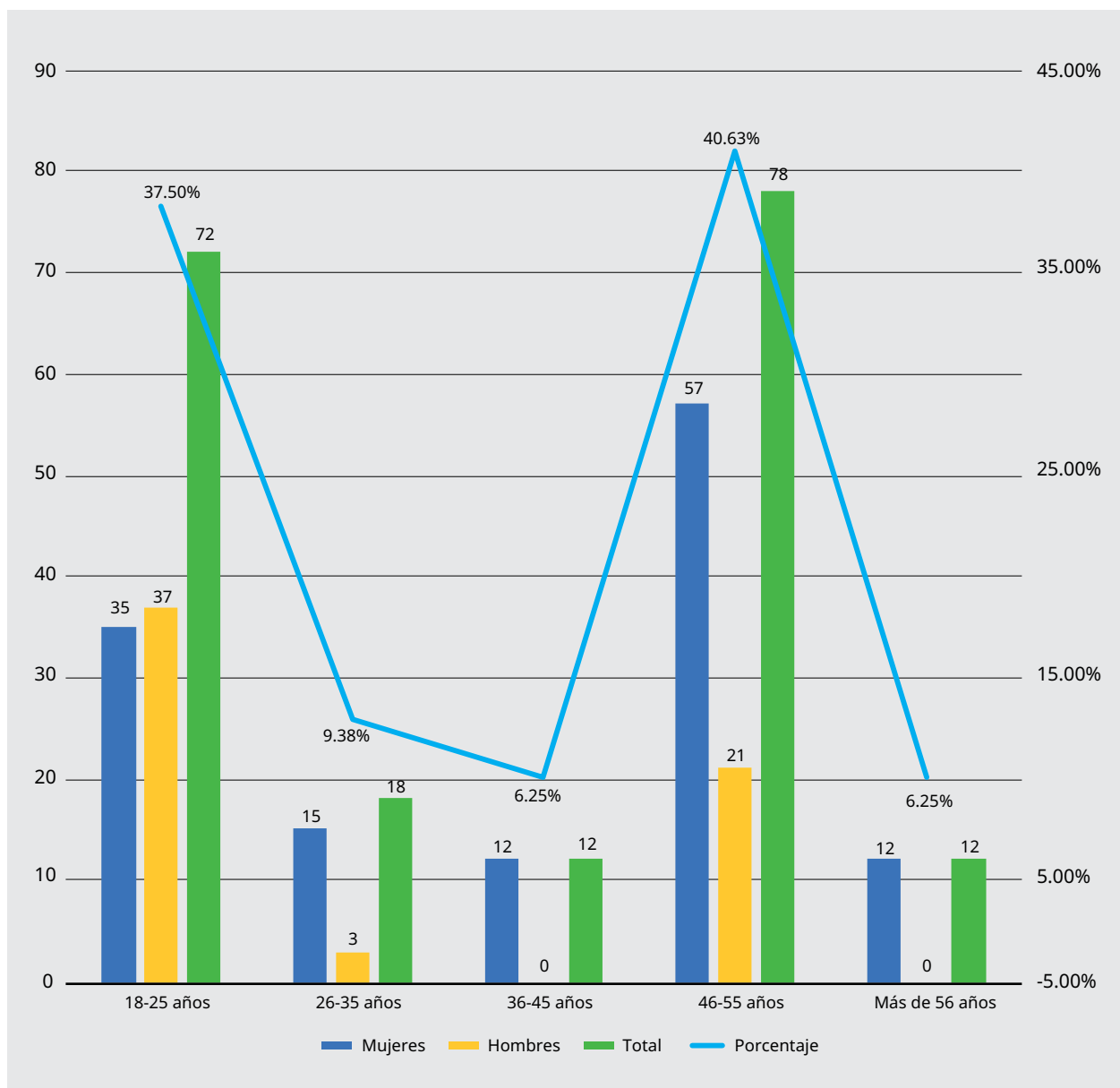
Perfil sociodemográfico y participación comunitaria

El análisis sociodemográfico de los participantes en el proyecto de meliponicultura reveló una notable predominancia femenina. Del total de 192 participantes encuestados, 130 (67.8%) fueron mujeres y 62 (32.2%) hombres. La distribución por grupos de edad mostró una concentración en los grupos de 46-55 años (40.63%) y 18-25 años (37.50%), lo que sugiere una combinación de experiencia y renovación generacional.

En términos de ocupación, las amas de casa constituyeron el grupo predominante (45.83%), seguido por empleados (25%) y estudiantes (20.31%). El nivel educativo predominante fue bachillerato (35.42%), seguido por secundaria (27.08%) y primaria (21.88%). Esta diversidad de perfiles enriqueció la implementación del proyecto, aportando diferentes perspectivas y habilidades.

La Figura 1 representa la distribución de participantes por género (mujeres y hombres) dentro de cada grupo de edad (18-25 años, 26-35 años, 36-45 años, 46-55 años, más de 56 años), con porcentajes indicados para cada categoría.

Figura 1. Distribución Demográfica por Género y Grupos de Edad de los Participantes



Fuente: Elaboración propia (2025).

La participación comunitaria se manifestó principalmente a través de la asistencia a talleres de capacitación, contribución a la instalación del meliponario comunitario y colaboración en actividades de monitoreo fenológico. Del total de participantes, el 12.50% estaba involucrado en organizaciones comunitarias previas al proyecto y el 15.10% se identificaba como líder comunitario, siendo el grupo de amas de casa el que presentó mayor representación en ambas categorías.

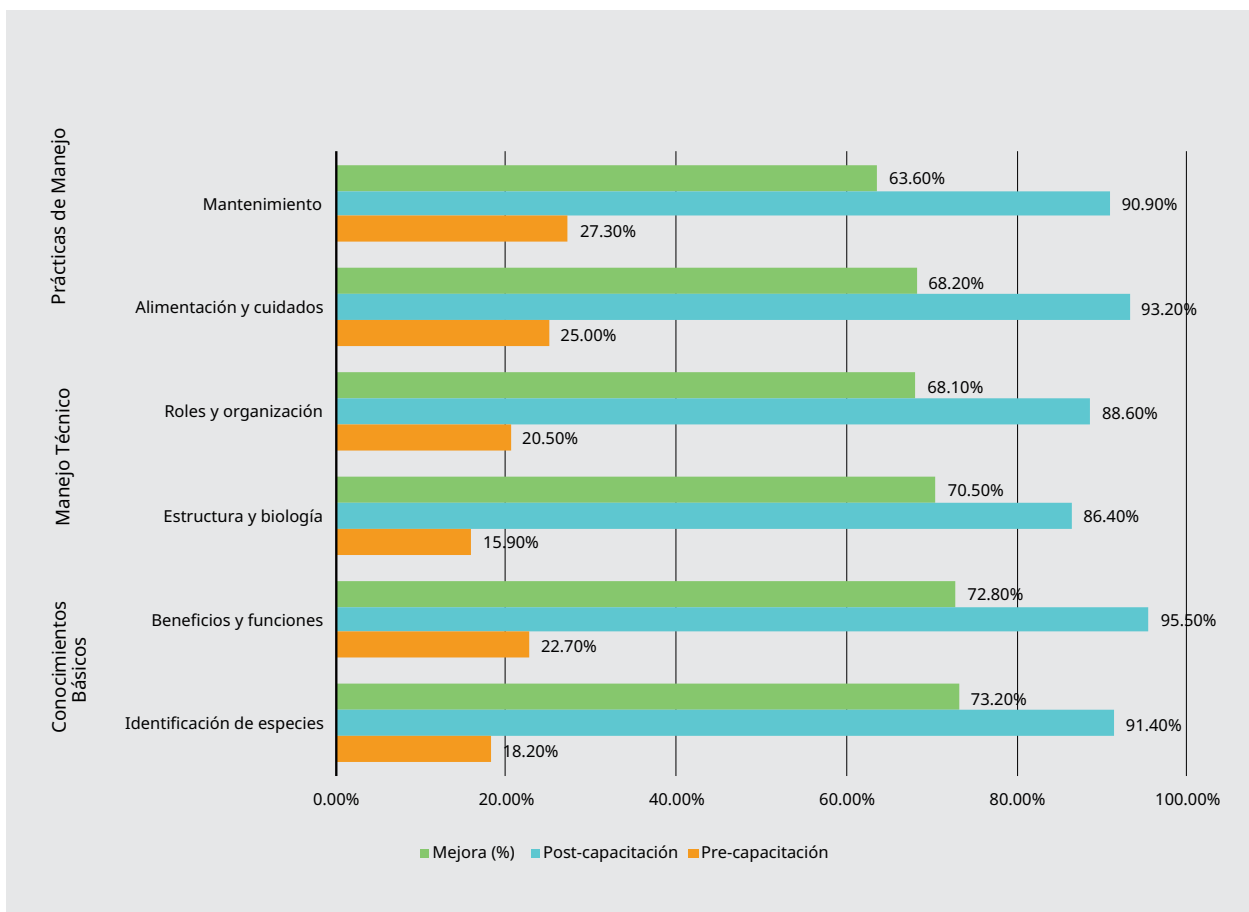
Transmisión de conocimientos

El programa de capacitación en meliponicultura mostró resultados significativos en términos de transmisión de conocimientos técnicos. Los 23 participantes (20 mujeres y 3 hombres) que completaron el programa presentaron un incremento promedio del 111.5% en sus conocimientos técnicos, pasando de una puntuación media de 6.1/15 puntos en la evaluación inicial a 12.9/15 puntos en la evaluación final.

Las áreas que mostraron mayor mejora fueron la identificación de especies (73.2% de incremento) y el conocimiento sobre beneficios y funciones de las abejas meliponas (72.8% de incremento). El análisis por perfil de participantes reveló que las amas de casa con experiencia previa mostraron el mayor aprovechamiento, alcanzando un promedio final de 13.2/15 puntos (88%), seguidas por los jóvenes estudiantes con 13.0/15 puntos (86.7%).

La Figura 2 presenta el porcentaje de mejora en seis áreas clave de conocimiento técnico: identificación de especies, beneficios y funciones, estructura y biología, roles y organización, alimentación y cuidados, y mantenimiento, comparando los resultados Pre-capacitación y Post-capacitación.

Figura 2. Evolución de Capacidades Técnicas en Meliponicultura



Fuente: Elaboración propia (2025).

Empoderamiento femenino

Un hallazgo significativo del estudio fue el papel predominante de las mujeres en la meliponicultura en Isla Arena. Las mujeres constituyeron el 87% de los participantes en el programa de capacitación y mostraron un alto nivel de apropiación de la actividad. Este protagonismo femenino representa una continuidad histórica, ya que tradicionalmente la meliponicultura ha sido una actividad vinculada a la esfera doméstica y, por tanto, gestionada principalmente por mujeres.

El análisis cualitativo reveló que la participación en el proyecto contribuyó al empoderamiento de las mujeres en múltiples dimensiones:

- **Empoderamiento económico:** A través del desarrollo de habilidades productivas y acceso a nuevas fuentes de ingreso bajo su control.
- **Empoderamiento social:** Mediante el fortalecimiento de redes de apoyo, intercambio de conocimientos y reconocimiento comunitario.
- **Empoderamiento personal:** Evidenciado en el incremento de la autoestima, confianza en sus capacidades y valoración de sus conocimientos tradicionales.

Índices de sustentabilidad por dimensión y global

La evaluación integral de la sustentabilidad del modelo de meliponicultura implementado en Isla Arena, mediante el Protocolo de Evaluación de Sustentabilidad (PES) y el Índice de Desarrollo Sostenible, generó los siguientes resultados:

Dimensión ambiental

La dimensión ambiental alcanzó el valor más alto entre las tres dimensiones evaluadas, con un índice de 0.72, ubicándose en el nivel alto de sustentabilidad según los parámetros establecidos. Los componentes que más contribuyeron a este resultado fueron:

- **Recursos naturales disponibles:** Con un valor de 0.75, reflejando la abundante disponibilidad de flora melífera y condiciones ecológicas favorables para las abejas meliponas.
- **Condiciones ambientales generales:** Con un valor de 0.69, indicando un entorno propicio para la meliponicultura.

Dimensión sociocultural

La dimensión sociocultural obtuvo un índice de 0.68, situándose en un nivel medio-alto de sustentabilidad. Los componentes más destacados fueron:

- **Participación comunitaria:** Con un valor de 0.74, evidenciando la fuerte disposición de la comunidad hacia el proyecto.
- **Perfil demográfico:** Con un valor de 0.65, indicando una composición poblacional adecuada para la actividad.
- **Preservación cultural:** Con un valor de 0.63, mostrando el potencial para integrar aspectos tradicionales en el proyecto.

Dimensión económica

La dimensión económica presentó el valor más bajo entre las tres dimensiones evaluadas, aunque aún en un nivel medio-alto, con un índice de 0.65. Los componentes específicos fueron:

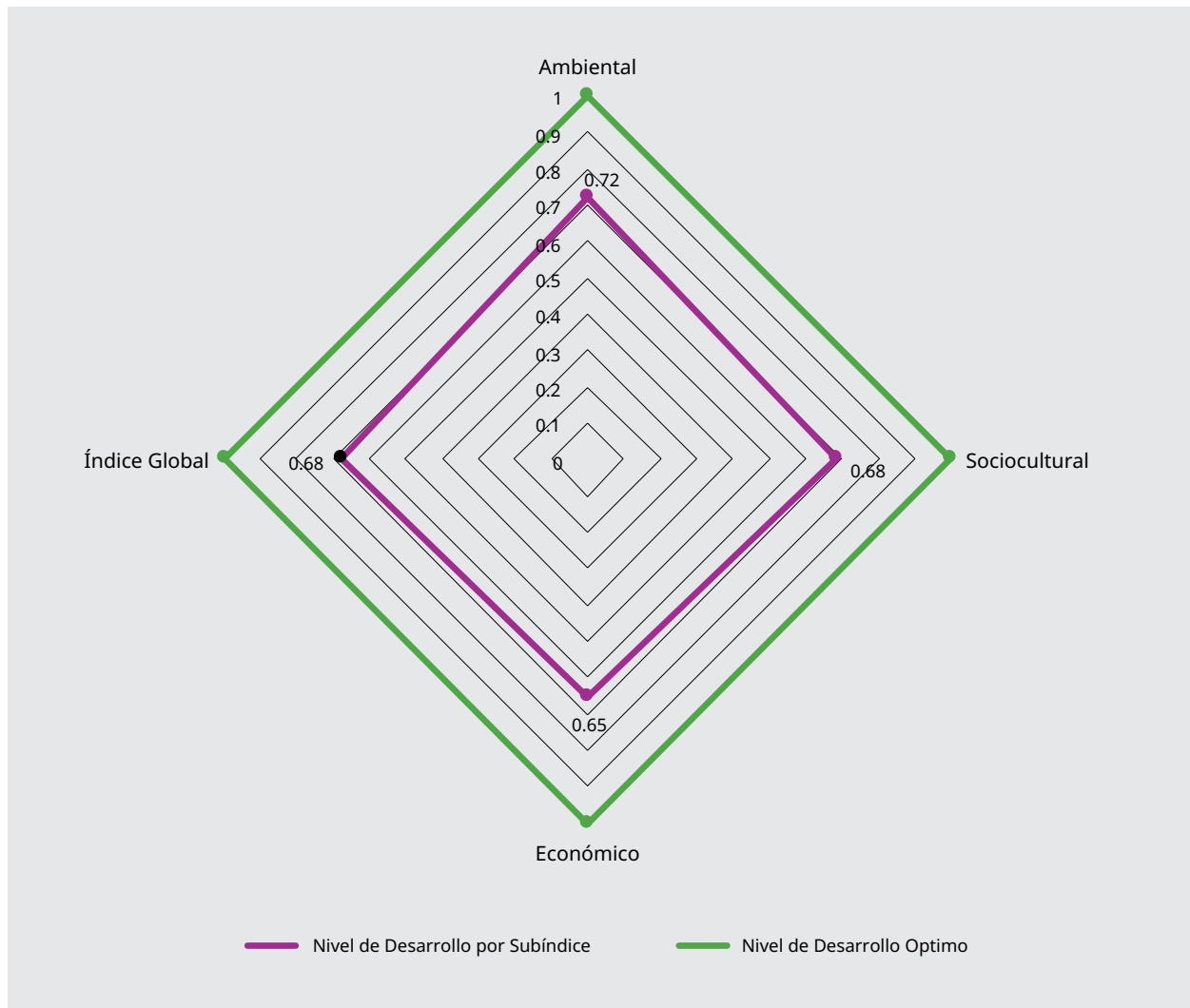
- **Potencial de mercado:** Con un valor de 0.68, reflejando oportunidades significativas para la comercialización de productos meliponícolas.
- **Factibilidad económica:** Con un valor de 0.66, indicando la viabilidad financiera del proyecto.
- **Beneficios económicos esperados:** Con un valor de 0.61, sugiriendo expectativas positivas pero moderadas sobre los retornos económicos.

Índice global de sustentabilidad

La integración de las tres dimensiones resultó en un índice global de sustentabilidad de 0.68, situando al proyecto en un nivel medio-alto según los umbrales establecidos. Este valor sugiere que la meliponicultura en Isla Arena presenta condiciones favorables para su implementación sostenible, aunque con áreas específicas de mejora, particularmente en la dimensión económica.

La Figura 3 presenta una visualización integrada de los tres sub-índices de sustentabilidad (ambiental, sociocultural y económico) y el índice global, contrastándolos con el valor óptimo de referencia (1.0).

Figura 3. Análisis integrado de sustentabilidad para la implementación de meliponicultura en Isla Arena.



Fuente: Elaboración propia (2025).

El análisis detallado del polígono de sustentabilidad revela un desarrollo relativamente equilibrado con una ligera inclinación hacia la fortaleza ambiental. El área sombreada entre el polígono actual y el de referencia representa el espacio de mejora potencial para alcanzar la sustentabilidad óptima del proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA POLÍTICA PÚBLICA

Síntesis de hallazgos principales

La presente investigación ha demostrado que la meliponicultura representa una estrategia viable para la conservación biocultural y el desarrollo sostenible en la comunidad de Isla Arena, ubicada en la Reserva de la Biosfera Ría Celestún. Los resultados obtenidos permiten identificar fortalezas significativas del modelo implementado, así como áreas de oportunidad que requieren atención para maximizar sus beneficios.

El estudio florístico reveló una notable riqueza de recursos melíferos en la zona, con 56 especies identificadas pertenecientes a 31 familias botánicas, de las cuales el 92.9% son nativas. Esta diversidad florística, junto con los patrones fenológicos identificados, proporciona una base sólida para la actividad meliponícola a lo largo del año, aunque con variaciones estacionales que deben considerarse en las estrategias de manejo.

Desde la perspectiva económica, se identificó un potencial significativo para la diversificación de ingresos a través de la producción de miel y derivados, así como mediante la integración con actividades turísticas. No obstante, persisten desafíos relacionados con los canales de comercialización y el desarrollo de productos con valor agregado, que requieren atención para mejorar la viabilidad económica del modelo.

El componente sociocultural mostró resultados particularmente alentadores, evidenciando una alta participación comunitaria (12.5% de involucrados en organizaciones previas), efectiva transmisión de conocimientos (incremento del 111.5% en capacidades técnicas) y notable empoderamiento femenino (87% de participación de mujeres). Estos indicadores sugieren que la meliponicultura puede funcionar como un vehículo efectivo para fortalecer el tejido social y preservar el patrimonio biocultural de la comunidad.

La evaluación integral de sustentabilidad arrojó un índice global de 0.68, situando al proyecto en un nivel medio-alto, con la dimensión ambiental como la más fortalecida (0.72), seguida por la sociocultural (0.68) y la económica (0.65). Este balance refleja la multidimensionalidad de los beneficios generados por la meliponicultura, al tiempo que señala la necesidad de estrategias específicas para fortalecer su viabilidad económica a largo plazo.

Propuestas para integrar la meliponicultura en estrategias de conservación de ANP

A partir de los resultados obtenidos, se proponen las siguientes estrategias para integrar la meliponicultura en las políticas de conservación de Áreas Naturales Protegidas:

- 1. Desarrollo de módulos de meliponicultura en los Programas de Manejo de ANP:** Incorporar formalmente la meliponicultura como una actividad productiva compatible con los objetivos de conservación en los instrumentos rectores de gestión de las ANP, especificando zonas aptas, lineamientos técnicos y mecanismos de monitoreo.
- 2. Establecimiento de corredores melíferos:** Diseñar e implementar corredores de flora nativa melífera que conecten fragmentos de vegetación conservada, contribuyendo simultáneamente a la restauración ecológica, la conservación de polinizadores y el fomento de la meliponicultura.
- 3. Sistemas de monitoreo participativo:** Desarrollar protocolos de monitoreo comunitario que integren indicadores de biodiversidad (abundancia y diversidad de abejas nativas, estado de la flora melífera) con indicadores productivos (producción de miel, salud de las colonias), generando información valiosa tanto para la gestión de las ANP como para los meliponicultores.
- 4. Certificación de origen en ANP:** Crear un sistema de certificación específico para productos meliponícolas provenientes de ANP, que garantice su origen, calidad y contribución a la conservación, añadiendo valor diferencial a estos productos en el mercado.
- 5. Meliponicultura como estrategia de educación ambiental:** Utilizar los meliponarios como espacios demostrativos para programas de educación ambiental dirigidos a visitantes, comunidades locales y estudiantes, destacando el papel de los polinizadores en la conservación de la biodiversidad.

Recomendaciones para esquemas de financiamiento e incentivos

El financiamiento juega un papel crucial en la viabilidad y escalabilidad de iniciativas de meliponicultura sostenible. El presente proyecto, financiado por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), el Programa de Pequeñas Donaciones (PPD) del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), demuestra la importancia de mecanismos financieros flexibles adaptados a las realidades locales.

A partir de esta experiencia, se recomiendan los siguientes esquemas de financiamiento e incentivos:

1. **Fondos semilla escalonados:** Implementar mecanismos de financiamiento progresivo para iniciativas de meliponicultura, comenzando con pequeños fondos para la fase piloto y aumentando gradualmente la inversión conforme se demuestren resultados positivos y capacidades fortalecidas.
2. **Esquemas de financiamiento mixto (blended finance):** Combinar recursos de cooperación internacional, presupuesto público y aportaciones del sector privado, maximizando el impacto de las inversiones y distribuyendo el riesgo financiero.
3. **Mecanismos de pago por servicios ambientales:** Desarrollar esquemas de compensación económica por los servicios ecosistémicos generados a través de la meliponicultura, particularmente la polinización de flora nativa y cultivos.
4. **Fondos concursables para innovación:** Crear fondos específicos para financiar innovaciones en prácticas de manejo, tecnologías apropiadas, modelos de negocio y estrategias de comercialización para productos meliponícolas.
5. **Microcréditos con tasas preferenciales:** Facilitar el acceso a financiamiento para inversiones en equipamiento e infraestructura meliponícola, con condiciones financieras adaptadas a las características de la actividad y perfil de los productores.

El caso de Isla Arena demuestra que el financiamiento no debe limitarse a la inversión inicial, sino contemplar un acompañamiento sostenido que permita a las comunidades desarrollar capacidades técnicas, organizativas y comerciales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de las iniciativas.

Directrices para la replicabilidad del modelo en otras comunidades

La experiencia desarrollada en Isla Arena ofrece lecciones valiosas para la replicación de modelos similares en otras comunidades dentro y fuera de áreas naturales protegidas. Se proponen las siguientes directrices para su adaptación a diferentes contextos:

1. **Diagnóstico integral participativo:** Realizar un análisis exhaustivo de las condiciones biofísicas, socioeconómicas y culturales de cada comunidad, con participación de los actores locales en la identificación de potencialidades y limitaciones para la meliponicultura.
2. **Enfoque de género transversal:** Integrar la perspectiva de género en todas las fases del proyecto, considerando los roles, necesidades y contribuciones diferenciadas de mujeres y hombres, y promoviendo activamente la participación femenina.
3. **Diálogo de saberes:** Fomentar el intercambio entre conocimientos científicos y saberes tradicionales, valorando y sistematizando las prácticas locales de manejo de abejas nativas y recursos melíferos.
4. **Escalamiento gradual:** Implementar el modelo de forma progresiva, comenzando con experiencias piloto que permitan el aprendizaje y la adaptación antes de expandir la escala del proyecto.
5. **Formación de promotores comunitarios:** Identificar y capacitar a actores locales que puedan liderar el proceso en su comunidad y compartir sus conocimientos con otros interesados, creando un efecto multiplicador.
6. **Integración en cadenas de valor existentes:** Vincular la meliponicultura con otras actividades productivas y comerciales ya establecidas en la región, como el turismo, la gastronomía o la medicina tradicional.
7. **Sistemas de monitoreo y aprendizaje:** Desarrollar mecanismos participativos para el seguimiento, evaluación y documentación de experiencias, facilitando el aprendizaje continuo y la adaptación del modelo.
8. **Alianzas estratégicas multisectoriales:** Establecer vínculos de colaboración entre comunidades, instituciones académicas, organizaciones de la sociedad civil, autoridades gubernamentales y sector privado, movilizand recursos complementarios.

Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El modelo de meliponicultura sostenible implementado en Isla Arena demuestra un alineamiento significativo con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), evidenciando su potencial como estrategia integral para abordar múltiples desafíos socioambientales:

- **ODS 5 - Igualdad de género:** El proyecto ha contribuido al empoderamiento económico y social de las mujeres, quienes constituyeron el 87% de los participantes en el programa de capacitación. La meliponicultura les ha permitido generar ingresos propios, fortalecer su posición en la toma de decisiones comunitarias y valorizar sus conocimientos tradicionales.
- **ODS 8 - Trabajo decente y crecimiento económico:** La meliponicultura representa una alternativa económica compatible con las condiciones locales, que genera ingresos complementarios y potencia la diversificación productiva. El modelo implementado promueve prácticas laborales equitativas y el desarrollo de capacidades técnicas y empresariales.
- **ODS 12 - Producción y consumo responsables:** El enfoque adoptado fomenta sistemas productivos sostenibles, basados en el aprovechamiento racional de los recursos naturales y la valorización de productos tradicionales. La promoción de circuitos cortos de comercialización y el énfasis en el valor agregado contribuyen a patrones de consumo más responsables.
- **ODS 15 - Vida de ecosistemas terrestres:** La meliponicultura sostenible promueve la conservación de la biodiversidad, particularmente de polinizadores nativos y flora melífera. El modelo incentiva la preservación de ecosistemas naturales y la restauración de áreas degradadas, contribuyendo a los objetivos de conservación de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún.

Adicionalmente, el proyecto aporta al ODS 1 (Fin de la pobreza), ODS 10 (Reducción de las desigualdades) y ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos), demostrando su carácter multidimensional y sinérgico.

En síntesis, la meliponicultura emerge como una estrategia prometedora para la conservación biocultural y el desarrollo sostenible en áreas naturales protegidas, particularmente cuando se implementa con un enfoque participativo, sensible al género y respetuoso de los conocimientos tradicionales. Su integración efectiva en políticas públicas, respaldada por esquemas de financiamiento adecuados, puede contribuir significativamente a la generación de beneficios ambientales, sociales y económicos para las comunidades locales, mientras fortalece los objetivos de conservación de estas áreas prioritarias para la biodiversidad global.

Referencias

- Agarwal, B. (2017). Does group farming empower rural women? Lessons from India's experiments. *Journal of Peasant Studies*, 44(1), 217-235.
- Alexiades, M. N. (2018). *Selected guidelines for ethnobotanical research: A field manual* (2ª ed.). New York Botanical Garden Press.
- Arellano-Rodríguez, J. A., Flores-Guido, J. S., Tun-Garrido, J., & Cruz-Bojórquez, M. M. (2018). *Nomenclatura, forma de vida, uso, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán* (2ª ed.). Universidad Autónoma de Yucatán.
- Arias-Arévalo, P., Martín-López, B., & Gómez-Baggethun, E. (2018). Exploring intrinsic, instrumental, and relational values for sustainable management of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 22(4), 43.
- Arnold, M., Shepherd, G., & Lewis, D. (2018). Trends in rural livelihoods and power relations. In D. Lewis (Ed.), *International Perspectives on Rural Development* (pp. 118-143). Routledge.
- Ayala-Arcipreste, M., Moo-Xix, F., & Montiel, S. (2017). Mujeres rurales y participación social: el caso de la Sociedad de Mujeres Campesinas de Tzucacab, Yucatán. *Revista Mexicana de Sociología*, 79(3), 611-638.
- Balvanera, P., Pascual, U., Díaz, S., Dziba, L., Richard, A., & Subramanian, S. M. (2017). Urgent need to strengthen the international commitment to IPBES. *Nature Ecology & Evolution*, 1(8), 1-3.
- Bertoni, M., López, M. J., & Testa, J. (2017). La valoración de servicios ecosistémicos en destinos turísticos. Análisis comparado en San Carlos de Bariloche y Mar del Plata. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 26(4), 931-952.
- Carnevali, G., Tapia, J. L., Duno de Stefano, R., & Ramírez, I. (2019). *Flora ilustrada de la Península de Yucatán: Listado florístico* (2ª ed.). Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Chan, K. M., Balvanera, P., Benessaiah, K., Chapman, M., Díaz, S., Gómez-Baggethun, E., ... & Turner, N. (2016). Opinion: Why protect nature? Rethinking values and the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(6), 1462-1465.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2018). Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Ría Celestún. SEMARNAT-CONANP.
- Contreras-Ucán, P. A., García-Quintanilla, A., & Rosado-May, F. J. (2020). Meliponicultura maya y empoderamiento femenino en comunidades rurales de Yucatán. *Estudios de Cultura Maya*, 56(1), 205-225.
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., ... & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5ª ed.). SAGE Publications.
- De Calvo, E. (2019). Protocolo para la Evaluación de la Sustentabilidad: Marco metodológico para proyectos productivos en áreas naturales protegidas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(2), 467-482.
- Delgado, F., Rist, S., & Escobar, C. (2019). Biocultural heritage and territorial development: An interdisciplinary perspective from the Andes. *Local Environment*, 24(12), 1128-1142.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., ... & Brauman, K. A. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359(6373), 270-272.
- Fournier, L. A. (2019). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles (3ª ed.). Turrialba.
- Freire, P. (2018). *Pedagogía del oprimido* (4ª ed.). Siglo XXI Editores.
- García, E. (2018). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (6ª ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Frapolli, E., Ayala-Orozco, B., Oliva, M., & Smith, R. J. (2018). Different approaches towards the understanding of socio-environmental conflicts in protected areas. *Sustainability*, 10(7), 2240.
- Gavin, M. C., McCarter, J., Berkes, F., Mead, A. T., Sterling, E. J., Tang, R., & Turner, N. J. (2018). Effective biodiversity conservation requires dynamic, pluralistic, partnership-based approaches. *Sustainability*, 10(6), 1846.
- Giannini, T. C., Costa, W. F., Cordeiro, G. D., Imperatriz-Fonseca, V. L., Saraiva, A. M., Biesmeijer, J., & Garibaldi, L. A. (2020). Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PLOS ONE*, 15(6), e0235383.
- González-Acereto, J. A., Quezada-Euán, J. J. G., & Medina-Medina, L. A. (2018). New perspectives for stingless beekeeping in the Yucatan: results of an integral program to rescue and promote the activity. *Journal of Apicultural Research*, 57(1), 106-114.
- Grau-Satorras, M., Reyes-García, V., & Demps, K. (2018). Traditional ecological knowledge and the evolution and persistence of the modern world: A case study on the Spanish central Pyrenees. *Journal of Ethnobiology*, 38(4), 542-560.
- Hernández-Félix, L., Molina-Rosales, D., & Agraz-Hernández, C. M. (2017). Servicios ecosistémicos y estrategias de conservación en el manglar de Isla Arena. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 14(3), 427-449.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*.
- López-Camacho, D., de Jesús Hernández-Flores, J., Sánchez-Rodríguez, M., & Jiménez-Velázquez, M. A. (2018). La agencia social de las mujeres en iniciativas agroecológicas: un análisis para el caso mexicano. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 47-65.
- Maia-Silva, C., Hrnčíř, M., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Schorkopf, D. L. P. (2020). Stingless bees (*Melipona subnitida*) adjust brood production rather than foraging activity in response to changes in pollen stores. *Journal of Comparative Physiology A*, 206(1), 17-27.
- Matteucci, S. D., & Colma, A. (2017). *Metodología para el estudio de la vegetación* (3ª ed.). Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Meléndez, V., Magaña-Rueda, S., Parra, V., García-Frapolli, E., & Ayala, R. (2018). Factors affecting the adoption of sustainable agriculture practices by honey producers in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Apicultural Research*, 57(4), 541-550.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press.
- Moreno, M., & Jayner, T. (2016). Sustainable development approaches and methods for rural communities in Latin American context: A critical review. *Development Policy Review*, 34(4), 455-476.

- Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... & Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26, 7-16.
- Peña-Puch, A. C., Rivera-Arriaga, E., Memije-Canepa, M. C., & Dzul de la Cruz, Z. D. (2022). El desarrollo de la pesca ribereña y el turismo comunitario en un área natural protegida: una revisión cualitativa del sistema socio-ecológico de Isla Arena, Campeche 2003-2021. *JAÍNA Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 4(1), 23-40.
- Pike, A., Rodríguez-Pose, A., & Tomaney, J. (2016). *Local and regional development*. Routledge.
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., ... & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), 220-229.
- Quezada-Euán, J. J. G. (2018). *Stingless bees of Mexico: The biology, management and conservation of an ancient heritage*. Springer.
- Quezada-Euán, J. J. G., Nates-Parra, G., Maués, M. M., Roubik, D. W., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2018). The economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology*, 65(4), 534-557.
- Ramírez, J. A., Ureña, J. M., & Camacho, A. (2017). Las abejas sin aguijón de la Región Sur de Costa Rica. *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*.
- Reyes-García, V., Fernández-Llamazares, A., McElwee, P., Molnár, Z., Öllerer, K., Wilson, S. J., & Brondizio, E. S. (2019). The contributions of Indigenous Peoples and local communities to ecological restoration. *Restoration Ecology*, 27(1), 3-8.
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., & Rockström, J. (2019). Six transformations to achieve the sustainable development goals. *Nature Sustainability*, 2(9), 805-814.
- Schoonenboom, J., & Johnson, R. B. (2017). How to construct a mixed methods research design. *KZfSS Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 69(2), 107-131.
- Sepúlveda, S. (2018). *Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios (2ª ed.)*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Sotelo-Santos, L. E., Guerrero-Martínez, F. J., & Valverde, M. C. (2018). La abeja melipona en la cosmogonía maya: Análisis semiótico de su representación en el Códice Madrid. *Estudios de Cultura Maya*, 51, 181-204.
- Sterling, E. J., Filardi, C., Toomey, A., Sigouin, A., Betley, E., Gazit, N., ... & Jupiter, S. D. (2017). Biocultural approaches to well-being and sustainability indicators across scales. *Nature Ecology & Evolution*, 1(12), 1798-1806.
- Tengö, M., Hill, R., Malmer, P., Raymond, C. M., Spierenburg, M., Danielsen, F., ... & Folke, C. (2017). Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond—lessons learned for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26, 17-25.
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2021). Political agroecology in Mexico: a path toward sustainability. *Sustainability*, 13(1), 268.
- Toledo, V. M., Barrera-Bassols, N., García-Frapolli, E., & Alarcón-Chaires, P. (2018). Uso múltiple y biodiversidad entre los mayas yucatecos (México). *Interciencia*, 33(5), 345-352.
- Torres-Aviléz, W., Méndez-González, M., Durán-García, R., Boulogne, I., & Germosén-Robineau, L. (2016). Medicinal plant knowledge in Caribbean Basin: a comparative study of Afrocaribbean, Amerindian and Mestizo communities. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12(1), 24.
- Vázquez-Canché, A. G., Salazar-Barrientos, L. L., & Tamayo-Manrique, J. (2015). Prácticas productivas y tradición en un grupo de mujeres meliponicultoras en Campeche, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(2), 20-33.
- Vides-Borrell, E., Porter-Bolland, L., Ferguson, B. G., Gasselin, P., Vaca, R., Valle-Mora, J. F., & Vandame, R. (2020). Polycultures, pastures and monocultures: Effects of land use intensity on wild bee diversity in tropical landscapes of southeastern Mexico. *Biological Conservation*, 245, 108574.
- Villanueva-Gutiérrez, R., Roubik, D. W., & Colli-Ucán, W. (2013). Extinction of Melipona beecheii and traditional beekeeping in the Yucatán peninsula. *Bee World*, 90(4), 88-96.
- Vit, P., Pedro, S. R. M., Roubik, D., & Deliza, R. (2018). Pot honey: a legacy of stingless bees. Springer.
- Weaver, D. B., & Lawton, L. J. (2017). A new visitation paradigm for protected areas. *Tourism Management*, 60, 140-146.
- Žračka, J., Koszkuł, W., Radnicka, K., Santos, L. E., & Hermes, B. (2018). Excavations in Structure 99 of Nakum: New data on Protoclassic rituals and Precolumbian Maya beekeeping. *Estudios de cultura maya*, 44, 85-117.

CAPÍTULO TRECE

PERFILES DE CONCIENCIA ECOLÓGICA EN EL VISITANTE DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA BALANDRA: UN ANÁLISIS DE CLASES LATENTES.

Gerzaín Avilés Polanco¹

Luis Felipe Beltrán Morales²

Adriana Miranda Torres³

Daniel Revollo Fernández⁴

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo identificar perfiles de visitantes del Área de Protección de Flora y Fauna Balandra, ubicada en Baja California Sur, México, en función de su comportamiento y conciencia ambiental. Para ello, se aplicaron 296 encuestas presenciales entre noviembre de 2022 y julio de 2023, dirigidas a turistas nacionales y extranjeros que visitaron el sitio. Mediante un análisis de clases latentes, se identificaron patrones de respuesta relacionados con el conocimiento ambiental, actitudes proambientales y prácticas sostenibles durante la visita. Los resultados permitieron clasificar a los visitantes en dos segmentos, cada uno con características particulares en cuanto a su nivel de conciencia ambiental y sus prácticas turísticas. Esta segmentación resulta útil para orientar estrategias diferenciadas de educación ambiental, manejo turístico y conservación del área, alineadas con las características de cada grupo. Este estudio contribuye al conocimiento sobre el perfil de los turistas y ofrece recomendaciones prácticas para mejorar la gestión sostenible del turismo en Balandra, discute el papel del turismo en Áreas Naturales Protegidas (ANP) como herramienta para la conservación y demuestra la utilidad del Análisis de Clases Latentes (LCA por sus siglas en inglés) como herramienta metodológica en investigaciones ambientales aplicadas al turismo y la conservación.

Palabras clave: Conciencia ecológica, Balandra, Análisis de Clases Latentes, Turismo, Área Natural Protegida.

Abstract

This study aims to identify visitor profiles for the Balandra Flora and Fauna Protection Area, located in Baja California Sur, Mexico, based on their behavior and environmental awareness. To this end, 296 in-person surveys were conducted between November 2022 and July 2023, targeting domestic and international tourists who visited the site. Through Latent Class Analysis (LCA), response patterns related to environmental knowledge, pro-environmental attitudes, and sustainable practices during the visit were identified. The results allowed visitors to be classified into two segments, each with specific characteristics regarding their level of environmental awareness and tourism practices. This segmentation is useful for guiding differentiated strategies for environmental education, tourism management, and area conservation, aligned with the characteristics of each group. This study contributes to the knowledge about tourist profiles and offers practical recommendations for improving sustainable tourism management in Balandra. It discusses the role of tourism in Protected Natural Areas (PNA) as a tool for conservation and demonstrates the usefulness of LCA as a methodological tool in environmental research applied to tourism and conservation.

Key words: Ecological awareness, Balandra, Latent Class Analysis, Tourism, Protected Natural Area.

1 Doctor en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, CIBNOR. Correo: gpolanco@cibnor.mx,

2 Doctor en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, CIBNOR. Correo: lbeltran04@cibnor.mx

3 Maestra en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, CIBNOR. Correo: amiranda@pg.cibnor.mx

4 Doctor en Economía de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Correo: drevollofer@gmail.com

Introducción

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son una herramienta fundamental para la preservación y restauración de ecosistemas con características ecológicas y de biodiversidad únicas. Estas zonas se establecen en ambientes originales que no han sido significativamente alterados, con el objetivo principal de conservar su riqueza natural (SEMARNAT, 2018). En México, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es el organismo encargado de la vigilancia y gestión de estas áreas (Hernández-Trejo, 2022), permitiendo un aprovechamiento sostenible que, a su vez, impulsa el crecimiento económico regional a través del turismo de naturaleza.

Las ANP no solo resguardan la biodiversidad, sino que también proporcionan recursos botánicos y faunísticos que pueden representar medios de subsistencia y bienestar para las comunidades locales, lo que ha generado un incremento en el número de visitantes (Herrera-Díaz *et al.*, 2020). Sin embargo, este crecimiento en la afluencia turística también suscita preocupaciones sobre los impactos ambientales derivados de dichas actividades. De hecho, la degradación ambiental en estos destinos suele estar relacionada con los efectos incidentales del turismo, los cuales a menudo pasan desapercibidos (Batool *et al.*, 2022). Entre estos impactos se encuentran la contaminación por residuos sólidos, la erosión del suelo debido al tránsito de turistas, la alteración de hábitats naturales, y el disturbio a la fauna local debido al ruido y la presencia humana. Ante este panorama, se vuelve imprescindible fomentar el desarrollo sostenible en el turismo. Este se define como aquel que asume la responsabilidad integral de sus impactos económicos, sociales y ambientales, considerando las necesidades de los visitantes, el entorno natural y las comunidades locales (Batool *et al.*, 2022). Dentro de este marco, el turismo sostenible promueve prácticas como la educación ambiental para los visitantes, el uso eficiente de los recursos naturales, y la implementación de estrategias de mitigación y compensación de impactos ecológicos. A través de la regulación de actividades turísticas y la participación de las comunidades locales en la conservación de los espacios naturales, se pueden minimizar los efectos negativos y potenciar los beneficios económicos y culturales del turismo en las ANP.

Uno de los indicadores clave de estas conductas es el nivel de conciencia ambiental, definido como “los factores psicológicos específicos relacionados con la propensión de los individuos a participar en comportamientos proambientales” (Jiménez-Sánchez y Lafuente, 2010). Esto implica que una persona con conciencia ambiental adopta una variedad de comportamientos en favor del medioambiente, sustentados en valores y actitudes alineados con la protección del entorno (Batool *et al.*, 2022). Entre estos comportamientos se encuentran la correcta disposición de residuos, el respeto a la flora y fauna local, el uso responsable de los recursos hídricos y energéticos, y la preferencia por servicios turísticos que implementen prácticas sostenibles.

Existe literatura que describe los perfiles de visitantes de Áreas Naturales Protegidas, sin embargo, el estudio de la conciencia ecológica en estos visitantes es un campo relativamente reciente. La literatura menciona que, dentro de la clasificación de perfiles turísticos, las variables sociodemográficas deben considerarse esenciales, ya que permiten identificar y clasificar a las personas en segmentos, facilitando así una mejor segmentación de mercado (Ramírez-Hurtado y Berbel-Pineda, 2015).

De acuerdo con el trabajo realizado por Batool y colaboradores. (2022), existen variables sociodemográficas y ambientales generales que están directamente relacionadas con un comportamiento ambiental responsable. Dentro de las variables sociodemográficas se incluyen edad, sexo, nivel educativo e ingreso mensual. Por otro lado, las variables ambientales consideran factores como el conocimiento ambiental, la afinidad emocional hacia la naturaleza y la intención conductual, los cuales influyen en la adopción de prácticas sostenibles por parte de los visitantes de ANP.

Las ANP han sido establecidas en distintos países como una estrategia clave para la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales. Estas zonas han demostrado ser efectivas en la protección de especies y hábitats vulnerables, así como en la regulación del turismo de naturaleza para minimizar impactos negativos en el medio ambiente (IUCN, 2020). Sin embargo, la creciente demanda de turismo en estas áreas ha generado preocupaciones respecto a su manejo sostenible y los efectos que la actividad turística puede tener sobre los ecosistemas y comunidades locales (Eagles *et al.*, 2002). Estudios recientes han señalado que el turismo masivo sin regulación adecuada puede generar una sobrecarga en la infraestructura ecológica, comprometiendo la integridad de los ecosistemas protegidos (Weaver, 2013).

Diversos estudios han abordado el impacto del turismo en ANP, señalando que una de las principales problemáticas es la falta de conciencia ambiental por parte de los visitantes. Investigaciones han demostrado que un mayor nivel de educación ambiental puede contribuir a la modificación de comportamientos y a una reducción de los impactos negativos en el entorno natural (Ballantyne y Packer, 2011). En este sentido, programas educativos dentro de las ANP y esfuerzos de sensibilización pueden jugar un papel clave en la transformación de actitudes y comportamientos (Powell *et al.*, 2009). Según Buckley (2011), las estrategias de turismo sostenible deben incluir regulaciones estrictas, monitoreo continuo y participación comunitaria para garantizar su efectividad a largo plazo.

En México, la CONANP ha promovido iniciativas para fomentar el turismo sostenible en diversas ANP, incluyendo programas de educación ambiental y capacitación para guías turísticos (Hernández-Trejo, 2022). Sin embargo, el grado de conciencia ambiental de los visitantes sigue siendo un factor determinante para la efectividad de estas iniciativas. Investigaciones recientes han sugerido que la segmentación de turistas según su nivel de conciencia ambiental podría ser una herramienta útil para diseñar estrategias de manejo y conservación más efectivas (Dolnicar *et al.*, 2008). Además, se ha observado que el uso de incentivos y normativas específicas dentro de las ANP puede fomentar prácticas más responsables entre los visitantes (Zhang *et al.*, 2014).

Dado el creciente interés en la conservación de las ANP y la necesidad de garantizar la sostenibilidad del turismo, el presente estudio se enfoca en el turismo dentro del Área de Protección a la Flora y Fauna Balandra. Su objetivo es analizar el perfil del visitante e identificar si existe conciencia ecológica entre ellos, utilizando el método de clases latentes como herramienta de análisis.

METODOLOGÍA

Área de estudio

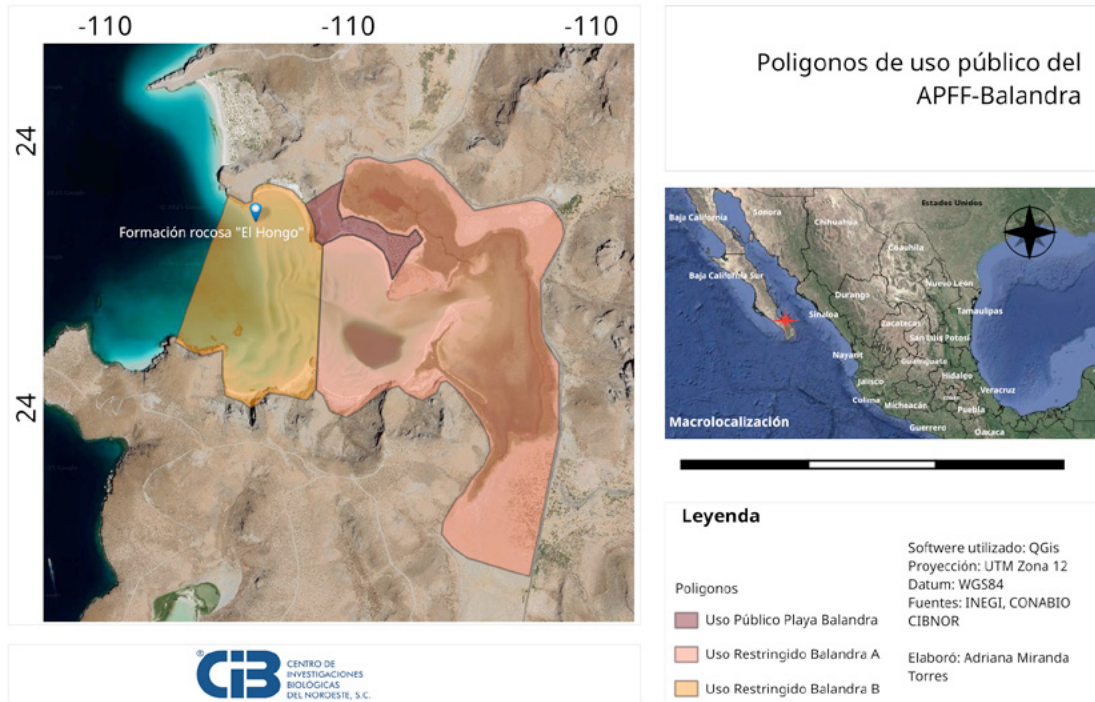
La playa Balandra, ubicada en el municipio de La Paz, en el estado de Baja California Sur (ver Mapa 1), es reconocida por su belleza escénica, aguas poco profundas, formaciones geológicas únicas como el icónico “hongo de Balandra” y su riqueza en biodiversidad marina y terrestre. Esta área fue decretada como Área Natural Protegida bajo la categoría de “Área de Protección de Flora y Fauna” el 30 de noviembre de 2012, tal como se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2012). La designación busca proteger sus ecosistemas costeros, manglares, dunas, matorrales xerófilos, y zonas marinas que albergan especies endémicas y en riesgo (Moncayo-Gil, 2016).

Con una extensión de 2,512 hectáreas, el Área de Protección de la Flora y Fauna Balandra (APFF-Balandra) cuenta con especies representativas del ecosistema del Golfo de California, incluyendo manglares del género *Rhizophora*, aves como el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), y especies marinas como la mantarraya gigante (*Mobula birostris*) y diversas especies de peces arrecifales (Carballo *et al.*, 2018).

Además de su valor ecológico, Balandra tiene una creciente importancia como destino turístico y recreativo. Debido al aumento en la afluencia de visitantes y a las presiones asociadas con actividades recreativas no reguladas, se implementaron medidas de manejo más estrictas. Actualmente, el acceso a la playa se regula mediante un sistema de turnos diarios para controlar la capacidad de carga turística. El primer turno va de las 08:00 a las 12:00 horas, y el segundo de las 13:00 a las 17:00 horas, con un cupo limitado de 450 personas por turno. Este sistema, implementado y supervisado por la CONANP, busca prevenir el deterioro del ecosistema marino-costero, garantizar la seguridad de los visitantes y fomentar una cultura de respeto ambiental (CONANP, 2023).

A pesar de estas medidas, estudios recientes han señalado que persisten desafíos en materia de conservación, como la presencia de residuos sólidos, el anclaje ilegal de embarcaciones, y la falta de conciencia ambiental entre algunos visitantes (Castro *et al.*, 2020). Por ello, la evaluación del perfil y la conciencia ecológica de los turistas en Balandra resulta clave para el diseño de estrategias de manejo más efectivas.

Mapa 1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: elaboración propia con base en Conanp (2025) e INEGI (2025).

Análisis de Clases Latentes

El Análisis de Clases Latentes (LCA, por sus siglas en inglés) es una técnica estadística multivariada utilizada para identificar subgrupos homogéneos dentro de una población, a partir de un conjunto de variables observables categóricas. Esta técnica permite inferir la existencia de una o varias variables latentes que explican los patrones de respuesta observados (Araya Alpízar, 2015).

LCA fue introducido inicialmente por Lazarsfeld (1968) como una herramienta para la construcción de variables dicotómicas a partir de datos categóricos (Batoool *et al.*, 2022). Desde entonces, su aplicación se ha extendido ampliamente en las ciencias sociales, la psicología, la educación, la salud pública, entre otros campos, debido a su capacidad para modelar constructos no observables (Henry, 2004; Collins y Lanza, 2010).

Fundamentos del modelo

Según Véliz-Capuñay, (2016), el LCA parte del supuesto de que existe una variable latente Y con K clases, que influye en un conjunto de variables observables categóricas $X_1, X_2, \dots, X_p$. Estas variables se consideran indicadores indirectos de la variable latente. Bajo este modelo, la probabilidad conjunta de las respuestas observadas se expresa como una suma ponderada de las probabilidades condicionales de esas respuestas, dadas las clases latentes:

$$P(X_1 = x_1, \dots, X_p = x_p) = \sum_{k=1}^K P(Y = k) * P(X_1 = x_1, \dots, X_p = x_p | Y = k)$$

Asumiendo independencia condicional entre las variables observadas dentro de cada clase latente, la expresión se simplifica a:

$$P(X_1 = x_1, \dots, X_p = x_p) = \sum_{k=1}^K P(Y = k) \prod_{i=1}^p P(X_i = x_i | Y = k)$$

Donde $P(Y=k)$ representa la proporción de individuos en la clase latente k , y los parámetros $P(X_i=x_i | Y=k)$ son las probabilidades condicionales específicas que deben estimarse a partir de los datos.

Estimación de parámetros

Los parámetros del modelo se estiman mediante el método de máxima verosimilitud, generalmente utilizando el algoritmo EM (Expectation-Maximization), que permite encontrar iterativamente los valores de los parámetros que maximizan la función de verosimilitud del modelo (Goodman, 1974; McLachlan & Peel, 2000). La función de verosimilitud tiene la siguiente forma:

$$L = \prod_{j=1}^N \sum_{k=1}^K P(Y = k) \prod_{i=1}^p P(X_{ij} = x_{ij} | Y = k)$$

Cuando las variables observadas son dicotómicas (0/1), la probabilidad condicional se puede expresar como:

$$P(X_i = x_i | Y = k) = \pi_{ik}^{x_i} (1 - \pi_{ik})^{1-x_i}$$

Y la probabilidad posterior de pertenencia de un individuo a la clase k , dada su respuesta, se obtiene mediante el teorema de Bayes:

$$P(Y = k | X_1 = x_1, \dots, X_p = x_p) = \frac{P(Y = k) \prod_{i=1}^p \pi_{ik}^{x_i} (1 - \pi_{ik})^{1-x_i}}{\sum_{j=1}^K P(Y = j) \prod_{i=1}^p \pi_{ij}^{x_i} (1 - \pi_{ij})^{1-x_j}}$$

Este valor posterior permite asignar a cada individuo a la clase latente con la mayor probabilidad condicional, lo que constituye una regla de clasificación óptima dentro del modelo.

Evaluación del ajuste del modelo

Una etapa clave del análisis es determinar el número adecuado de clases latentes. Para evaluar el ajuste del modelo se utilizan distintos criterios, entre ellos:

Chi-cuadrado de Pearson (X^2):

$$X^2 = \sum_{i,j} \frac{(n_{ij} - \mu_{ij})^2}{\mu_{ij}}$$

Razón de verosimilitud (G^2):

$$G^2 = 2 \sum_{i,j} n_{ij} \ln \frac{n_{ij}}{\mu_{ij}}$$

Donde n_{ij} es la frecuencia observada y μ_{ij} la frecuencia esperada según el modelo. Sin embargo, estos estadísticos pueden verse afectados negativamente si el modelo tiene demasiados parámetros y pocos datos.

Por ello, es común utilizar criterios de información penalizados como el Akaike Information Criterion (AIC) y el Bayesian Information Criterion (BIC), que penalizan la complejidad del modelo:

$$\begin{aligned} AIC &= -2\ln(L) + 2m \\ BIC &= -2\ln(L) + m(\ln(N)) \end{aligned}$$

Donde m es el número de parámetros estimados y N el tamaño de la muestra. El modelo óptimo será aquel que minimice estos criterios.

Por lo que, el LCA es una poderosa herramienta para la identificación de patrones subyacentes en datos categóricos. Su utilidad radica en la capacidad de modelar estructuras no observables, a partir de datos observados, y en su versatilidad para distintas disciplinas. Sin embargo, su correcta aplicación requiere atención a los supuestos del modelo, la adecuada elección del número de clases y una interpretación coherente con el fenómeno estudiado.

En el Análisis de Clases Latentes, la construcción de los ítems, es decir, las variables observadas que actúan como indicadores de la variable latente, es un paso crucial, ya que de ello depende la validez del modelo. Estos ítems deben ser representativos de la dimensión teórica que se desea medir, y estar formulados de manera que capten variabilidad significativa entre los individuos de la muestra.

Los ítems en LCA son usualmente categóricos (dicotómicos u ordinales), aunque también pueden adaptarse ítems continuos mediante extensiones del modelo clásico (Collins & Lanza, 2010). La selección de los ítems debe guiarse por una revisión teórica previa y por evidencia empírica que sustente su relevancia como indicadores de la variable latente (Bartholomew *et al.*, 2011). En investigaciones de corte ambiental o de comportamiento proambiental, como en estudios sobre conciencia ecológica, los ítems suelen derivarse de constructos teóricos como el modelo de valores, actitudes y creencias ambientales (Stern, 2000) o la teoría del comportamiento planificado (Ajzen, 1991).

Cada ítem debe estar formulado para captar un aspecto específico de la variable latente y no superponerse con otros ítems. Por ejemplo, si se busca medir conciencia ecológica, los ítems podrían abordar la preocupación por el medio ambiente, la disposición a actuar, el conocimiento de problemas ambientales, o la participación en actividades de conservación (Kollmuss & Agyeman, 2002). Es fundamental que los ítems presenten suficiente variabilidad en las respuestas, evitando indicadores con respuestas mayoritarias en una sola categoría, ya que esto puede afectar la identificación de clases (Lanza & Rhoades, 2013).

Desde el punto de vista técnico, cada ítem debe ser independiente condicionalmente dado el estatus de clase latente, es decir, se asume que las correlaciones entre ítems son explicadas totalmente por la pertenencia a una clase latente específica (McCutcheon, 1987). Esta condición de independencia local es clave para la validez del modelo y debe comprobarse empíricamente mediante análisis de residuos o índices de ajuste.

La calidad de los ítems también se evalúa a través de su capacidad discriminativa, es decir, su habilidad para diferenciar entre las distintas clases latentes. Los ítems con baja discriminación o que presentan patrones de respuesta similares en todas las clases deben reconsiderarse o eliminarse del modelo (Nylund-Gibson & Choi, 2018).

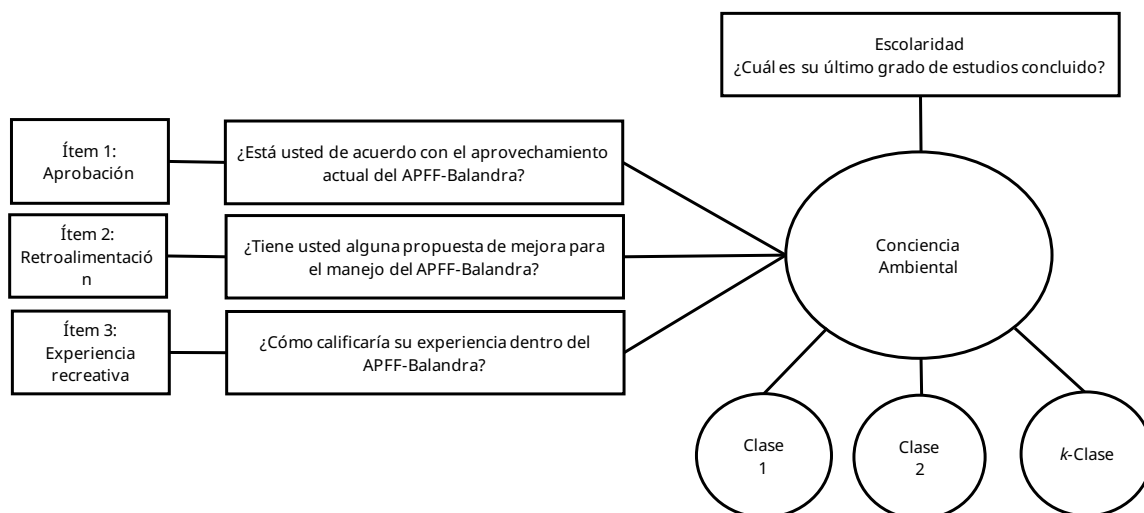
Descripción de los ítems utilizados

Para este estudio se desarrollaron tres ítems agrupados en dos dimensiones principales: Gestión del Área de Protección de Flora y Fauna Balandra y Experiencia recreativa de los visitantes. Estos ítems están diseñados para captar diferentes aspectos de la conciencia ambiental de los visitantes y se describen a continuación:

- **Ítem 1:** Aprobación. Este ítem evalúa la postura del visitante respecto al manejo actual del APFF-Balandra, a través de la pregunta: "¿Está usted de acuerdo con el aprovechamiento actual del APFF-Balandra?".
- **Ítem 2:** Retroalimentación. Este ítem explora si el visitante tiene propuestas concretas de mejora para la gestión del área, mediante la pregunta: "¿Tiene usted alguna propuesta de mejora para el manejo del APFF-Balandra?".
- **Ítem 3:** Experiencia recreativa. Este ítem indaga sobre la calidad de la experiencia del visitante en el sitio, a partir de la pregunta: "¿Cómo calificaría su experiencia dentro del APFF-Balandra?".

Además, se incluyó la variable sociodemográfica Escolaridad, entendida como el último grado de estudios concluido por el visitante, la cual resultó ser significativa en la formación de clases latentes. La relación entre los ítems, la variable educativa y la estructura latente de conciencia ambiental se resume en la Figura 1, donde se representan las trayectorias hacia la clasificación de los visitantes en diferentes clases latentes (Clase 1, Clase 2, ..., Clase k).

Figura 1. Creación de los ítems para la generación de las clases latentes.



Fuente: Elaboración propia.

La recolección de datos en campo se realizó mediante la aplicación de encuestas in situ a los visitantes del APFF-Balandra, desde noviembre de 2022 hasta julio de 2023. En total, se obtuvo una muestra de 296 encuestas.

Resultados

La mayoría de los visitantes encuestados fueron mujeres, con una edad promedio de 36 años. En cuanto al nivel educativo, predominó la educación universitaria. La mayoría de los encuestados fueron de origen nacional, con mayor afluencia en la temporada primavera-verano.

La Tabla 1 resume los criterios de información utilizados para seleccionar el modelo más adecuado, [criterios de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC)]. Ambos indicadores muestran un mejor ajuste para el modelo de dos clases latentes, al presentar valores más bajos que el modelo de una sola clase.

Tabla 1. Criterios utilizados para la selección del modelo

Modelo	Observaciones	Grados de libertad	AIC	BIC
1 clase	295	3	715.2433	726.3040
2 clase	295	6	691.0449	724.2276

Fuente: Elaboración propia.

El modelo de dos clases permitió identificar dos grupos diferenciados dentro de la muestra, siendo estadísticamente significativas únicamente las variables nivel educativo y temporada de visitación, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Variables con significancia estadística en el modelo de clases latentes.

Atributos	Coficiente	Error estándar	p > z
Escolaridad	.8292473	.4232156	0.050
Temporada de visitación	3.945243	1.5542	0.011
Constante	-6.05401	2.350758	0.010

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3 presenta el efecto marginal sobre la probabilidad media de pertenecer a cada clase, considerando tres variables relacionadas con la conciencia ambiental: acuerdo con el manejo actual del área, propuesta de mejora y percepción de la experiencia recreativa. Se observa que la Clase 2 presenta valores considerablemente más altos en estas tres dimensiones.

Tabla 3. Efectos marginales de variables indicadoras por clase latente

Variable	Clase 1 (Prob.)	Error estándar	Clase 2 (Prob.)	Error estándar
Acuerdo manejo	0.314	0.221	0.947	0.018
Propuesta de mejora	0.309	0.127	0.727	0.031
Experiencia recreativa	0.883	0.653	0.966	0.966

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados sugieren que la Clase 1 se caracteriza por una menor probabilidad de estar de acuerdo con el manejo actual del área, menor disposición a proponer mejoras y una valoración menos favorable de la experiencia recreativa (calificada como regular, mala o muy mala). En contraste, la Clase 2 muestra una alta aceptación tanto del manejo actual como de propuestas de mejora, y una experiencia recreativa percibida como buena o muy buena.

La Tabla 4 muestra la probabilidad marginal de pertenencia a cada clase. Se observa que el 87% de los individuos tiene mayor probabilidad de pertenecer a la Clase 2, mientras que solo el 13% a la Clase 1.

Tabla 4. Probabilidad marginal de pertenencia a las clases latentes

Clase	Probabilidad marginal	Error estándar
Clase 1	.13	.04
Clase 2	.87	.04

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5 detalla la frecuencia de individuos por clase latente, reflejando la distribución observada de los entrevistados.

Tabla 5. Frecuencia de presencia de los individuos para cada clase

Clase	Frecuencia
Clase 1	31
Clase 2	264

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Tabla 6 presenta la proporción de pertenencia a cada clase según las variables sociodemográficas. Se observan diferencias notables en el nivel educativo, el origen y la temporada de visitación, siendo estos factores los más influyentes en la clasificación.

Tabla 6. Proporción de pertenencia a las clases según variables sociodemográficas.

Variable	Clase 1	Clase 2
Sexo		
Mujer	42%	47%
Hombre	58%	53%
Edad		
18–24	13%	10%
25–34	42%	43%
35–44	16%	25%
45–54	16%	12%
55–64	10%	5%
65+	3%	5%
Nivel educativo		
Primaria	6%	1%
Secundaria	10%	3%
Preparatoria	39%	21%
Universidad	32%	56%
Posgrado	13%	19%
Origen		
Nacional	68%	83%
Extranjero	32%	17%
Temporada de visita		
Otoño–Invierno	97%	38%
Primavera–Verano	3%	62%

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y Discusión

Los resultados obtenidos a través del modelo de clases latentes evidencian la existencia de dos perfiles diferenciados de visitantes al Área Natural Protegida Balandra en cuanto a su nivel de conciencia ambiental. Este hallazgo coincide con estudios previos que han identificado la heterogeneidad de actitudes y comportamientos ambientales dentro de los visitantes a espacios naturales (Martínez-Sala *et al.*, 2020; López-Mosquera & Sánchez, 2012).

La Clase 2, que agrupa a la mayoría de los encuestados (87%), mostró una mayor probabilidad de estar de acuerdo con el manejo actual del área, proponer mejoras y calificando positivamente su experiencia recreativa. Estos atributos son indicativos de una mayor conciencia ambiental, entendida no solo como conocimiento sobre los problemas ambientales, sino también como disposición a participar en soluciones y prácticas responsables (Kollmuss & Agyeman, 2002).

Este grupo se caracteriza principalmente por contar con un nivel educativo universitario o de posgrado y por haber visitado el área durante la temporada primavera-verano, lo que sugiere que la educación y el contexto temporal de la visita pueden influir en una mayor sensibilización y valoración del entorno natural. Diversos estudios han demostrado que un mayor nivel educativo se asocia positivamente con una mayor conciencia y comportamiento ambiental, dado que proporciona a los individuos mayor acceso a información y comprensión crítica sobre temas ecológicos (Cheng y Monroe, 2012; Meinhold y Malkus, 2005).

En contraste, la Clase 1, que representa un porcentaje menor de la muestra (13%), mostró baja aceptación del manejo actual, poca disposición a proponer mejoras y una percepción negativa o regular de su experiencia recreativa, lo que puede interpretarse como un nivel más bajo de conciencia ambiental. Esta clase estuvo compuesta principalmente por personas con menor nivel educativo (preparatoria o menos) y cuya visita se realizó en

la temporada otoño-invierno, época que podría coincidir con menor presencia de actividades de interpretación ambiental o servicios educativos.

Estos resultados refuerzan la importancia de segmentar a los visitantes para diseñar estrategias diferenciadas de educación ambiental, como lo proponen Ballantyne y Packer (2011), quienes subrayan que los programas de manejo en áreas naturales deben adaptarse a las características del público para aumentar su efectividad. La educación ambiental contextualizada y experiencial puede ser una herramienta clave para fortalecer la conciencia ambiental, especialmente en segmentos con menor predisposición inicial (Ardoín *et al.*, 2013).

Finalmente, es importante destacar que, aunque la mayoría de los visitantes mostró altos niveles de conciencia ambiental, la presencia de una clase menos comprometida implica la necesidad de fortalecer las estrategias de comunicación, interpretación y participación ciudadana dentro del área protegida. Invertir en estos procesos no solo mejorará la experiencia del visitante, sino que también contribuye al objetivo más amplio de conservación sostenible del patrimonio natural (Ham y Weiler, 2007).

Conclusiones

El presente estudio, permitió identificar dos perfiles diferenciados de visitantes al Área Natural Protegida Balandra en función de su nivel de conciencia ambiental. La mayoría de los encuestados fue clasificada en una clase caracterizada por una alta aceptación del manejo actual del área, disposición a proponer mejoras y evaluación positiva de su experiencia recreativa, lo cual sugiere un nivel elevado de conciencia ecológica.

En contraste, un grupo menor mostró una actitud menos favorable hacia el manejo del área, escasa iniciativa para la mejora y una percepción negativa de su experiencia, indicando un nivel bajo de conciencia ambiental. Estos resultados destacan la influencia de variables sociodemográficas como el nivel educativo y la temporada de visita, que fueron significativas para la pertenencia a una u otra clase.

La segmentación de los visitantes con base en su conciencia ambiental permite reconocer la necesidad de diseñar estrategias diferenciadas de educación e interpretación ambiental dentro del área protegida. En particular, se recomienda fortalecer los esfuerzos dirigidos a aquellos segmentos con menor nivel educativo o que visitan el área en temporadas donde hay menor oferta de actividades educativas.

Finalmente, este estudio reafirma que la valoración y protección de los recursos naturales no dependen únicamente del disfrute recreativo, sino también de la construcción de una conciencia ambiental sólida, la cual puede ser fomentada a través de intervenciones informadas, participativas y adaptadas a la diversidad del público visitante.

Bibliografía

- Ardoín, N. M., Wheaton, M., Bowers, A. W., Hunt, C. A., & Durham, W. H. (2013). Nature-based tourism's impact on environmental knowledge, attitudes, and behavior: A review and analysis of the literature and potential future research. *Journal of Sustainable Tourism*, 23(6), 838–858.
- Ballantyne, R., & Packer, J. (2011). Using tourism free-choice learning experiences to promote environmentally sustainable behaviour: The role of post-visit action resources. *Environmental Education Research*, 17(2), 201–215.
- Batool, N., Dada, Z. A., & Shah, S. A. (2022). Developing tourist typology based on environmental concern: An application of the latent class analysis model. *SN Social Sciences*, 2.
- Batool, S., Shahzad, M. K., Amin, A., & Janjua, S. Y. (2022). Environmental awareness and pro-environmental behavior: Evidence from ecotourists in national parks. *Journal of Environmental Management*, 316, 115221.
- Buckley, R. (2011). Tourism and environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 397–416.
- Carballo, J. L., Aguilar-Camacho, J. M., Nava, H., & Cruz-Barraza, J. A. (2018). Marine biodiversity of the Gulf of California: A macroecological perspective. *Marine Biodiversity*, 48(3), 1213–1227.
- Castro, M., Ramírez, E., & López, J. (2020). Diagnóstico del impacto turístico en Balandra, Baja California Sur. *Revista de Estudios Ambientales*, 14(2), 45–58.
- Cheng, J. C. H., & Monroe, M. C. (2012). Connection to nature: Children's affective attitude toward nature. *Environment and Behavior*, 44(1), 31–49.
- Collins, L. M., & Lanza, S. T. (2010). *Latent class and latent transition analysis: With applications in the social, behavioral, and health sciences*. Wiley.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2019). Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Balandra. SEMARNAT.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2023). Información actualizada sobre la operación turística en Balandra. <https://www.gob.mx/conanp>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2012). Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna la región conocida como Balandra, ubicada en el municipio de La Paz, Estado de Baja California Sur.
- Dolnicar, S., Crouch, G. I., & Long, P. (2008). Environment-friendly tourists: What do we really know about them? *Journal of Sustainable Tourism*, 16(2), 197–210.
- Eagles, P. F. J., McCool, S. F., & Haynes, C. D. (2002). Sustainable tourism in protected areas: Guidelines for planning and management. IUCN.
- Hagenaars, J. A., & McCutcheon, A. L. (2002). *Applied latent class analysis*. Cambridge University Press.
- Ham, S., & Weiler, B. (2007). Is there a difference between interpretation and environmental education? Yes, and no. *Journal of Interpretation Research*, 12(2), 13–17.
- Hernández-Trejo, V. (2022). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de las Áreas Protegidas: Balandra, Archipiélago Espíritu Santo y Área de Refugio para la Protección del Tiburón Ballena en la Bahía de La Paz, B.C.S. La Paz.
- Herrera-Díaz, S., Monge-Amores, E., Lasso-Barreto, S., & Zhunio-Armas, B. (2020). El turista de naturaleza. Estudio sobre el perfil del turista y su comportamiento en áreas naturales protegidas del Ecuador. Caso: Parque Nacional Cotacachi Cayapas. *Revista de Investigación de la Ciencia Turística*, 14, 180–212.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). (2020). Protected planet report 2020. IUCN, UNEP-WCMC.
- Jiménez-Sánchez, M., & Lafuente, R. (2010). Defining and measuring environmental consciousness. *Revista Internacional de Sociología*, 68(3), 731–755.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260.
- López-Mosquera, N., & Sánchez, M. (2012). Theory of planned behavior and the value-belief-norm theory explaining willingness to pay for a suburban park. *Journal of Environmental Management*, 113, 251–262.
- Martínez-Sala, A. M., *et al.* (2020). Perfiles de visitantes y conciencia ambiental en espacios naturales protegidos: estudio de caso en el Parque Natural de las Lagunas de La Mata y Torrevieja. *Revista de Estudios Andaluces*, (39), 109–129.
- McLachlan, G., & Peel, D. (2000). *Finite mixture models*. Wiley.
- Moncayo-Gil, L. F. (2016). Programa de manejo: Área de Protección de Flora y Fauna Balandra.
- Moncayo-Gil, O. (2016). Caracterización del turismo en el Área Natural Protegida Balandra, La Paz, BCS (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Nylund, K. L., Asparouhov, T., & Muthén, B. O. (2007). Deciding on the number of classes in latent class analysis and growth mixture modeling: A Monte Carlo simulation study. *Structural Equation Modeling*, 14(4), 535–569.
- Powell, R. B., Kellert, S. R., & Ham, S. H. (2009). Interactional theory and the sustainable nature-based tourism experience. *Society & Natural Resources*, 22(8), 761–776.
- Ramírez-Hurtado, J. M., & Berbel-Pineda, J. M. (2015). Identification of segments for overseas tourists playing golf in Spain: A latent class approach. *Journal of Hospitality Marketing and Management*, 24, 652–680.
- Ramírez-Hurtado, J. M., & Berbel-Pineda, J. M. (2015). Segmentación del mercado turístico: Un análisis basado en la motivación del visitante. *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 13(4), 877–892.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). ANP, corazón del patrimonio natural de México. <https://www.gob.mx/semarnat>
- Véliz-Capuya, C. (2017). Clases latentes. En C. Chávez-Ceballos, N. Herrero, & J. P. Rodríguez-Velázquez (Eds.), *Análisis multivariante: Métodos estadísticos multivariantes para la investigación* (pp. 183–194). CENGAGE Learning.
- Vermunt, J. K., & Magidson, J. (2004). Latent class analysis. En *The Sage encyclopedia of social science research methods*.
- Weaver, D. B. (2013). Protected area visitor management and satisfaction: Evolving concepts and contemporary challenges. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 1–2, 22–30.
- Zhang, H., Xu, F., & Yang, Y. (2014). Predicting tourists' pro-environmental behaviors: The role of awareness, activity, and context. *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 38(4), 473–494.

CAPÍTULO CATORCE

EL AGUA EN LAS PERCEPCIONES DE LOS NIÑOS DE DOS COMUNIDADES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA SELVA EL OCOTE, CHIAPAS, MÉXICO.

Dra. María Silvia Sánchez Cortés¹

Resumen

En las ANPs de México existen pocos estudios sobre la percepción de los servicios ecosistémicos y del agua por parte de los niños. Esta investigación se realizó entre 2016-2018 a través de dos estudios de caso sobre las percepciones de los niños y niñas acerca del agua en los ejidos Armando Zebadúa y CNC. Se siguió el enfoque teórico de Whyte (1977) sobre las percepciones ambientales en las cuales se expresan conocimientos, sentires, valoraciones, experiencias y actitudes sobre el ambiente además de estar vinculadas al contexto. Los objetivos fueron 1) analizar los conocimientos, percepciones y valoraciones sobre el agua que expresan los niños y las niñas de ambas comunidades en sus dibujos y 2) conocer la vinculación de las percepciones con su entorno cercano representado por la presencia de la montaña (selva). La investigación fue cualitativa y se recolectaron las percepciones a través de dibujos de los alumnos de 4° a 6° de primaria. Los dibujos se codificaron con el software Atlas ti V 9 para su análisis. En los resultados se obtuvieron 72 códigos de animales, plantas, lugares, elementos abióticos y construidos (barcos y aviones) y seis categorías de análisis. Hubo diferencias entre comunidades en cuanto al contexto al señalar de donde proviene el agua. Sin embargo, no se presentaron diferencias de género. Ambos aspectos coinciden con otros estudios realizados en el país al señalar el papel del contexto de la percepción. El origen del agua se asoció con la lluvia, ríos y mares, pero no como objetos aislados, sino con experiencias (acarreo de agua, lluvia, nadar y pescar). Se concluye que los estudios de percepción son una herramienta para la orientación de políticas públicas y programas de educación ambiental y difusión para enfatizar en la importancia del papel de la vegetación de la selva y sus servicios ecosistémicos.

Palabras clave: dibujos, agua, percepciones, servicios ecosistémicos, educación ambiental

Abstract

Few studies exist on children's perceptions of ecosystem services and water in Mexico's PNAs. This research was conducted between 2016 and 2018 through two case studies on children's perceptions about water in the Armando Zebadúa and CNC ejidos. Whyte's (1977) theoretical approach to environmental perceptions was followed, which express knowledge, feelings, assessments, experiences, and attitudes about the environment, in addition to being linked to the context. The objectives were 1) to analyze the knowledge, perceptions, and assessments about water expressed by children from both communities in their drawings and 2) to understand the connection between these perceptions and their immediate environment, represented by the presence of the mountain (jungle). The research was qualitative, and perceptions were collected through drawings by students in grades 4° to 6°. The drawings were coded using Atlas ti V 9 software for analysis. The results yielded 72 codes for animals, plants, places, abiotic and constructed elements (ships and airplanes), and six categories of analysis. There were differences between communities regarding the context of where water comes from. However, no gender differences were found. Both aspects coincide with other studies conducted in the country in highlighting the role of the context of perception. The

¹ Doctora en Ciencias Biológicas, Laboratorio de Cultura y Conservación Biológica Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Correo: maria.sanchez@unicach.mx

origin of water was associated with rain, rivers, and oceans, not as isolated objects, but rather with experiences (water fetching, rain, swimming, and fishing). It is concluded that perception studies are a tool for guiding public policies and environmental education and outreach programs to emphasize the important role of rainforest vegetation and its ecosystem services.

Key words: draws, water, perceptions, ecosystem services, environmental education

Introducción

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son los instrumentos para la conservación de la biodiversidad y su gestión sustentable. Se reconoce que la evaluación de los Servicios ecosistémicos (SE) desde un enfoque socio cultural de las comunidades locales, permite comprender sus percepciones del territorio, necesidades, preferencias y las razones vinculadas a estas áreas (Pingarrón, et al., 2022). La valoración que tengan las comunidades locales hacia la biodiversidad y servicios de los ecosistemas es un tema prioritario para los actores locales y para las políticas públicas.

En los últimos años el valor de los ecosistemas para los humanos se ha descrito usando el concepto de servicios ecosistémicos (Cavanagh, et al, 2016). De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millenium Ecosystem Assessment, 2003) los SE son los beneficios directos e indirectos de los ecosistemas para el bienestar humano. El valor se ha expresado cuantitativa o cualitativamente y aunque no sin debates, se considera relevante esta valoración para orientar la toma de decisiones (Constanza, 1997). El agua representa un SE directo como provisión para los humanos. También es un SE cultural cuando se vincula a aspectos de recreación, espirituales o religiosos y está relacionada con el SE de soporte-mantenimiento para la dinámica hidrológica. Para el caso del agua y otros SE de provisión, estos se perciben más fácilmente por las poblaciones humanas al relacionarlos directamente con su subsistencia (Millenium Ecosystem Assessment, 2003; Hurtado-Torres et al., 2022). Por otra parte, es necesario contextualizar que los sistemas de agua dulce del mundo se encuentran degradados, así como su habilidad para mantener la vida de humanos y no humanos. Entre las causas se encuentran los proyectos hidroeléctricos e hidráulicos que alteran la circulación del agua al eliminar o modificar pantanos y humedales, el extractivismo, así como la contaminación industrial, municipal y doméstica con las consecuencias como el estrés hídrico y el desabastecimiento de agua para humanos y la biodiversidad (Cano y Haller, 2018).

En las ANP se ha iniciado con los estudios sobre la percepción de los habitantes que viven en las zonas de amortiguamiento acerca de los servicios ecosistémicos y del agua. Con respecto a las percepciones de los niños en México se han estudiado particularmente las del agua, la selva y los animales silvestres, pero son pocas las investigaciones que consideran las percepciones de los niños. El trabajo de Cano (2006) estuvo enfocado hacia cómo adquieren y transmiten los niños de preescolar los conocimientos sobre el ciclo del agua. Castrejón (2006) se enfocó a los conocimientos, percepciones y actitudes hacia el agua por parte de los niños de nivel primaria. Ambas autoras se acercaron a conocer estas percepciones a través de los dibujos de los niños.

Para Barraza (1999) el dibujo como herramienta de investigación para conocer y evaluar las percepciones hacia el ambiente ha sido poco utilizado. A su vez permite acceder a los significados que los niños y niñas quienes otorgan a los diferentes aspectos del ambiente sus sentimientos y anhelos. La autora considera que la mayor parte de los niños y niñas disfrutan el hacer dibujos, por lo que es más fácil pedirles que realicen un dibujo a que contesten de manera verbal una pregunta, eliminando así la tensión que estas pueden causarles. En algunos de los estudios realizados a través de los dibujos se ha buscado la relación entre las diferencias de género y la influencia de los contextos en la percepción como es el lugar de residencia (Dove et al., 1999; Castrejón, 2006; Aguilar Cucurachi, et al., 2017).

En el caso del papel de la vegetación de selvas y bosques denominados localmente como montañas, es percibido por los adultos de diferentes comunidades como un elemento importante al fungir como lugares de captación de agua (Sánchez-Cortés y Lazos, 2011). Pero ¿qué se manifiesta en la percepción de los niños con respecto al origen del agua, vinculado a los SE de la vegetación y su valoración? ¿qué elementos se expresan en la percepción de los niños de un ANP acerca del agua? En la percepción se expresan conocimientos, sentires, valoraciones, experiencias y actitudes, además de estar vinculadas al contexto (White, 1977; Lazos y Paré, 2001). Es en este sentido que decidimos utilizar el enfoque teórico de las percepciones ambientales de Whyte (1977) para indagar acerca de las percepciones de los niños acerca del agua. Whyte define a las percepciones como los sentires y preocupaciones acerca del ambiente. Este enfoque teórico va más allá de la percepción sensorial provocado por un estímulo y su respuesta. Se indagan a través de este enfoque teórico sobre todo los juicios y valores presentes en la percepción y su contexto.

Considerando que en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote varían los contextos de las comunidades con respecto al acceso al agua, es que consideramos dos localidades cercanas entre sí, pero con diferencias en

cuanto al acceso de este recurso a lo largo del año. En una comunidad el agua se extrae primordialmente de una fuente subterránea y la misma se vuelve escasa en la temporada de estiaje entre abril y mayo. En la otra localidad el acceso al agua se hace por bombeo de una corriente superficial y cuentan con diversos arroyos que atraviesan la comunidad. Los objetivos de la investigación fueron 1) analizar los conocimientos, percepciones y valoraciones sobre el agua que expresan los niños y las niñas de ambas comunidades en sus dibujos y 2) conocer la vinculación de las percepciones con su entorno cercano representado por la presencia de la montaña (selva). Se utilizó una metodología cualitativa para describir las percepciones.

Área de estudio

La Reserva de la Biósfera Selva El Ocote (REBISO), ubicada en Chiapas se caracteriza por su selva tropical húmeda. Colinda al oeste con los Ríos El Encajonado y La Venta, así como diversos ríos que desembocan en la cuenca hidrológica del Río Grijalva. A esta importante hidrografía se suma una gran diversidad de condiciones topográficas y microclimáticas para el desarrollo de una gran biodiversidad que se expresa en los ecosistemas y especies que alberga. En 2015 en esta Reserva habitaban en su zona de amortiguamiento 17 mil personas en 64 cuatro comunidades (Zamora-Lomelí, 2017).

Las comunidades de estudio se ubican en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, misma que enfrenta diversos conflictos socioambientales como el relacionado con incendios forestales que van en detrimento de la vegetación. A su vez en diferentes comunidades de la Reserva, se reporta la disminución del agua disponible en la temporada de estiaje. Esta situación se debe a que en la Reserva se presentan suelos cársticos que permiten la filtración rápida del agua de lluvia al subsuelo. De esta manera, la mayoría de las comunidades carecen de agua superficial, en cambio otras tienen más accesibilidad a través de pequeños arroyos y ríos.

Para la investigación se eligieron dos comunidades que se ubican en zonas cercanas pero difieren en cuanto a su acceso al agua para realizar sus actividades cotidianas y de recreación. Una comunidad corresponde al ejido de Armando Zebadúa, los pobladores se abastecen principalmente de agua subterránea y algunas familias de pozos y captación de agua de lluvia. Sus actividades principales son la agricultura de temporal de maíz y frijol y el cultivo de café. La otra comunidad es el ejido de Confederación Nacional Campesina (CNC), ubicada cerca del río Grijalva y del Puente Chiapas. Aquí los habitantes obtienen el agua de un afluente principal por bombeo y de pozos domésticos, además de que pequeños arroyos atraviesan la comunidad. Sus actividades principales son la ganadería y la agricultura de temporal de maíz.

Metodología

La investigación formó parte del proyecto correspondiente a la percepción de los habitantes de los ejidos Armando Zebadúa y CNC de la REBISO sobre los servicios ecosistémicos proporcionados por la selva, conocida localmente como montaña, realizada de 2014 a 2018. En éste capítulo se describe la percepción de los niños acerca del origen agua que llega a sus comunidades ejidales. La investigación fue cualitativa y se recolectaron las percepciones a través de dibujos solicitados a los alumnos de 4° a 6° de educación primaria y con una edad entre 9 y 12 años. Inicialmente se tuvo un acercamiento con los administradores de la REBISO y con las autoridades ejidales y escolares de las comunidades para solicitar los permisos correspondientes para la investigación. Se les comunicó el trabajo a realizar con los niños, preferentemente por grado escolar. Sin embargo, la primera visita a cada comunidad coincidió con la suspensión de clases en la entidad (2015) aunque se convivió con los niños. En la segunda visita para cada comunidad no todos los niños estuvieron presentes, por lo que los maestros reunieron a los niños en un solo grupo de participantes de 4° a 6°. Para la comunidad de CNC se realizó una sesión, 2016 y para Armando Zebadúa se realizaron dos sesiones, una en 2017 y otra en 2018 con la finalidad de obtener la mayor participación posible. Una vez estando con los niños en las sesiones correspondientes, nos presentamos y a continuación se les pidió que dibujaran de dónde proviene el agua, siendo la única indicación y pregunta preestablecida para no influir en sus dibujos. Se les proporcionaron diferentes lápices de colores para que ellos tomaran los de su elección. Una vez terminado su dibujo a cada participante se le solicitó que anotara su nombre, edad y grado escolar. También se les pidió que explicaran brevemente qué elementos habían dibujado. Se grabaron los testimonios en audio y a cada dibujo se le asignó una clave para identificar al participante y la comunidad en que se realizó. Los dibujos se organizaron por grado escolar y por comunidad, se escanearon y guardaron como archivo pdf. Se revisó cada dibujo y los elementos presentes en él con el apoyo del software Atlas ti V 9.0. La codificación de elementos presentes consistió en la identificación de seres vivos, elementos abióticos y objetos. Posteriormente se agruparon en categorías de análisis construidas a partir de los elementos representados en los dibujos por lo que no se definieron *a priori*. La elaboración e interpretación de las categorías permitió realizar el análisis correspondiente, principalmente descriptivo así como una cuantificación de frecuencias de los ele-

mentos con el apoyo de Excel. Esta cuantificación permitió argumentar las preferencias de los niños en cuanto a los elementos que representaron en sus dibujos. Los testimonios grabados se transcribieron a Word y sirvieron para apoyar el análisis posterior de los elementos presentes en cada dibujo. Algunos testimonios fueron muy puntuales y otros más argumentados en su descripción.

RESULTADOS

Se obtuvieron para ambas comunidades 80 dibujos. Para Armando Zebadúa se recopilaron 14 dibujos de niñas y 29 de niños haciendo un total de 43. Para la comunidad de CNC fueron 18 dibujos de niñas y 19 de niños con un total de 37. A partir de la revisión de cada dibujo se obtuvieron de 73 códigos para ambas comunidades. A cada código se le asignó un nombre de un elemento en particular por ejemplo: árboles, montaña, peces, río, mariposa, etc. (Anexo 1). El menor número de elementos presentes en un solo dibujo fue de tres, correspondiendo a algunos dibujos elaborados por niñas de Armando Zebadúa y niños de CNC. El dibujo con más elementos representados fue de 13, en dibujos de niños y niñas realizados en Armando Zebadúa. En la comunidad de CNC este caso correspondió a 12 elementos presentes en dibujos de niñas y 13 elementos en niños. Para el caso de los árboles se ubicó presencia/ausencia en los dibujos y se construyeron códigos para 1, 2, 3, 4 o más árboles.

Los diferentes elementos presentes en los dibujos fueron agrupados de acuerdo a su afinidad entre ellos. Por ejemplo animales acuáticos: dulceacuícolas y marinos; animales terrestres: domésticos y silvestres, entre otros. De esta manera se obtuvieron siete categorías de análisis que se describen a continuación:

1. El agua y de dónde viene

En esta categoría se obtuvieron 13 elementos y 224 frecuencias identificados en los dibujos. Los elementos correspondientes a esta categoría se agruparon de acuerdo a los lugares que los participantes señalaron como el origen del agua. Así se reconocieron lugares de dónde se abastecen de agua las familias para las labores cotidianas. Para Armando Zebadúa correspondieron a: agua subterránea, la cueva, pozos y tanque (Figura 1). Para el ejido de CNC fueron señalados los arroyos. En estos dibujos se aprecian las diferencias en cuanto al contexto de la comunidad y el acceso al agua para sus casas. La comunidad de CNC tiene un abastecimiento constante a lo largo del año, caso contrario a Armando Zebadúa en donde se registra escases en la temporada de estiaje, además de abastecerse principalmente de agua subterránea.

Figura 1. Origen del agua. Se incluye el agua subterránea además de la lluvia y cuerpos de agua.



Fuente: Dra. María Silvia Sánchez Cortés.

La cueva es donde se ubica la bomba que extrae la mayor cantidad de agua para el poblado. A su vez, para ambas comunidades los niños mencionaron los ríos, lagunas, montañas con agua y con vegetación, además del mar. Un vínculo importante que fue ampliamente representado en los dibujos de los participantes fueron la lluvia (20.1 %) y las nubes (25.4%) como origen del agua (Tabla 1, Figura 2).

En los dibujos de los niños de la REBISO al referir de donde procede el agua, se tiene similitud con el trabajo de Cano (2006) quien señala que el agua procede del mar, del cielo, de las islas, los pozos, e incluso de otras comunidades. De acuerdo con la autora, estos lugares corresponden a sitios que niños y niñas habían visto que tenían agua, y que eran posibles fuentes de abastecimiento del río, de allí que se señale también el mar.

Tabla 1. Procedencia del agua en ambas comunidades.

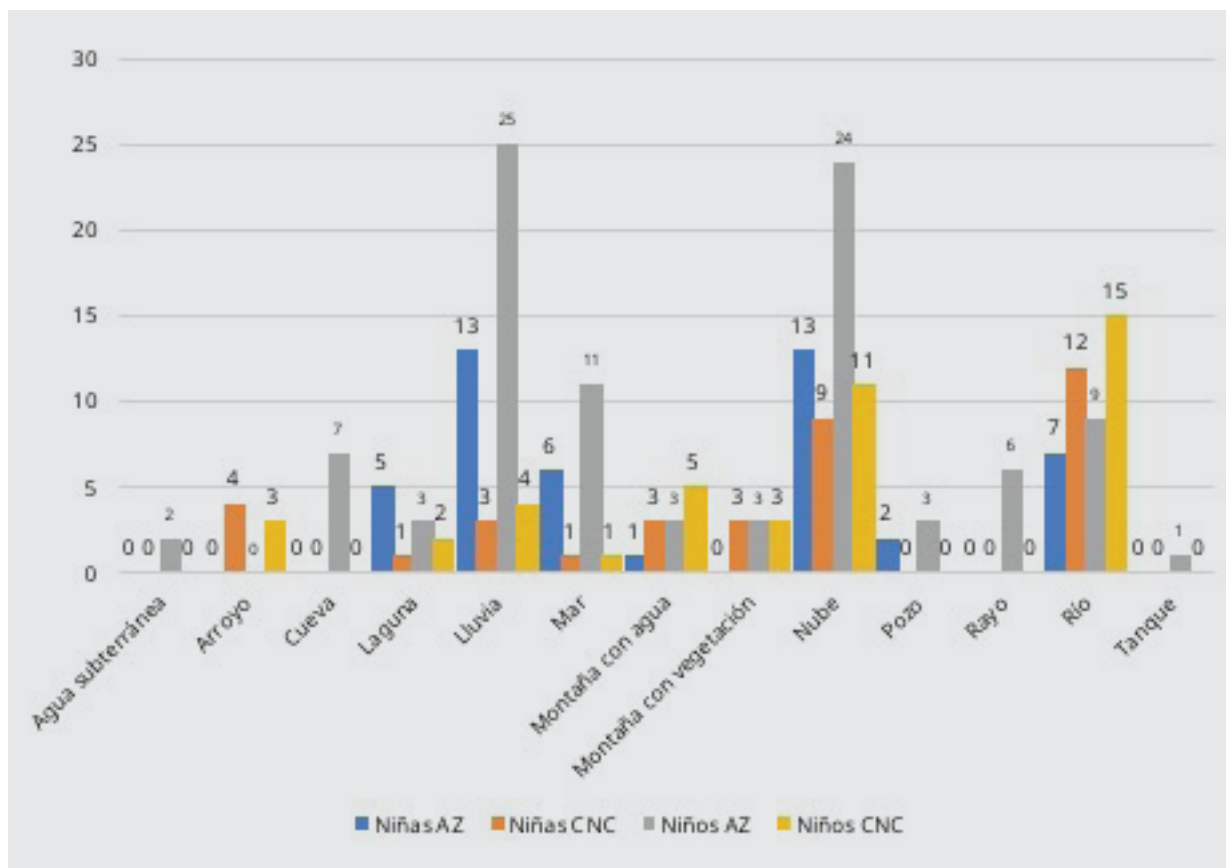
Procedencia	%
Agua subterránea	0.9
Arroyo	3.1
Cueva	3.1
Laguna	4.9
Lluvia	20.1
Mar	8.5
Montaña con agua	5.4
Montaña con vegetación	4
Nube	25.4
Pozo	2.2
Rayo	2.7
Río	19.2
Tanque	0.4
N=224	100

Fuente: elaboración propia.

Los participantes de la REBISO valoran el agua para la vida cotidiana, como los niños de Armando Zebadúa al señalar en sus grabaciones:

“Este es el pozo, llegamos a sacar agua y cuando se seca el pozo viene la lluvia y se llena de nuevo el pozo”... “Esta es el agua subterránea, la nube tira el agua, [después del] tiempo de secas, se llena el pozo, aquí está el poblado, hay vapor de agua y sube el agua”.

Figura 2: El agua y de dónde viene. Elemento representado en los dibujos en ambas comunidades. N=224.



Fuente: elaboración propia.

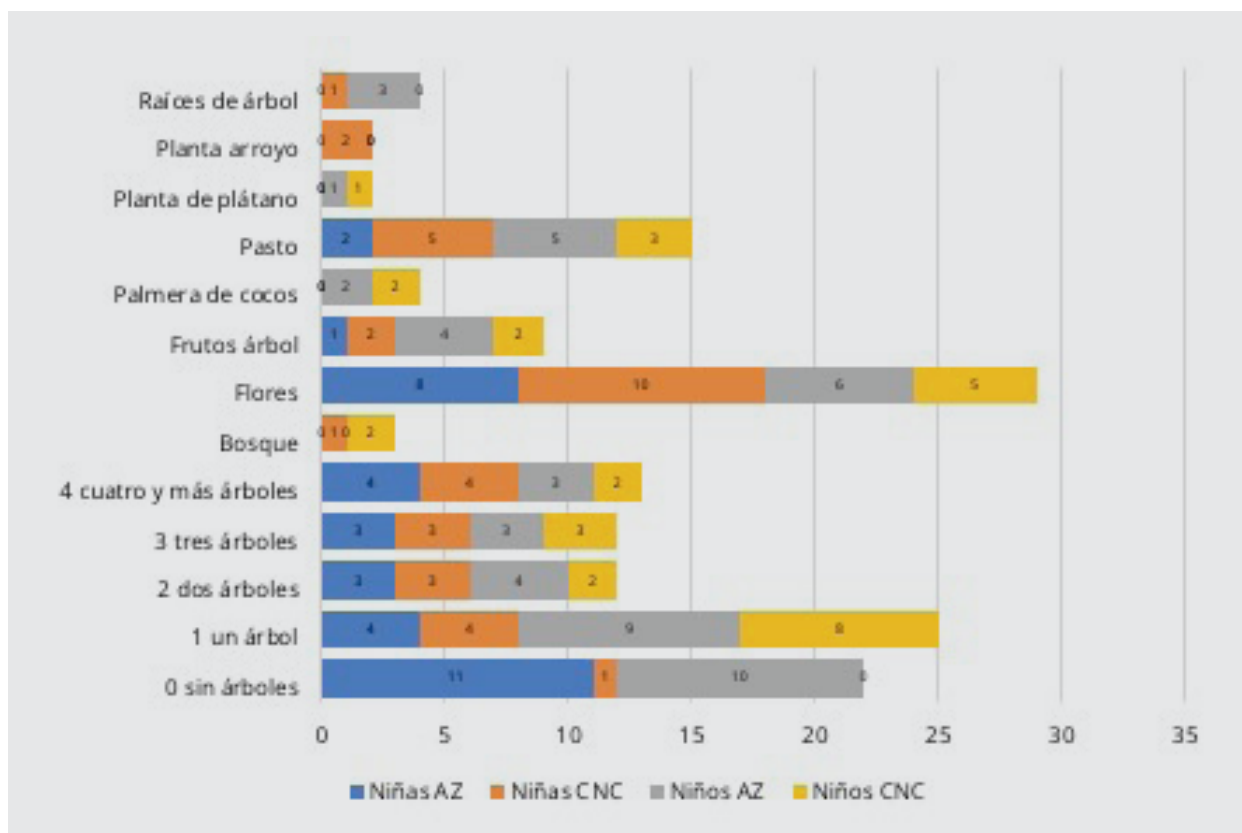
A su vez ubican al mar como fuente de agua y como parte del ciclo hidrológico que seguramente revisaron en clase, en conjunto con las nubes y que vinculan a la información de su experiencia, sentires y emociones: “Esta es la nube, está lloviendo, iba a caer un rayo y se espantaron los niños. Con la lluvia crece el pasto que come el caballo” ... “En el mar sube la evaporación, la nube la trae y llega y llueve. A la gente le gusta que llueva porque hay meses que no llueve” ... “Es el agua que está lloviendo y las plantas toman agua, cae al río y se va al mar” ... El SE de soporte se expresa en el reconocimiento del agua para que los animales coman y las plantas crezcan. Este aspecto coincide con la investigación de Cano (2006).

2. Plantas

La categoría se construyó a partir de la presencia/ausencia de árboles, diferentes tipos de plantas y de la representación de los bosques. Para ambas comunidades un total de 22 dibujos no presentaron árboles (14 %). Los árboles (1 a 4 árboles y más) fueron el elemento más representativo con el 41% (Figura 3). Las flores ocuparon el segundo lugar en esta categoría (29%). Las niñas de ambas comunidades fueron las que más dibujaron este elemento (18%) con respecto a los niños (11%). Sin embargo, se considera no es significativo para argumentar diferencias de género en la percepción puesto que los otros elementos dibujados por los niños y niñas no expresaron diferencias. La valoración del agua se relaciona con las plantas al señalar:

“Los árboles van a crecer más por el agua” ... “Los árboles dan frutos”

Figura 3: Plantas representadas en los dibujos de niños y niñas de ambas comunidades (N=152). Se expresa en número de frecuencias por cada comunidad. AZ Armando Zebadúa y CNC, Confederación Nacional Campesina.



Fuente: elaboración propia.

3. Cielo y tierra

Los elementos más representados en esta categoría fueron el sol (30%), cielo (17%) arcoíris (13%) y rocas del paisaje o presentes en los ríos (13%), montaña (11%), luna (9%), suelo (4%) y estrella (2%). Se obtuvo un total de 7 elementos y 53 frecuencias. El cielo es un elemento importante porque en él se encuentran las nubes que traen la lluvia. *“El cielo es azul y cuando llueve se pone negro”*... Cielo y montañas están asociados con el agua de lluvia y con el territorio habitado al señalar por ejemplo *“Del cielo baja el agua de lluvia y en la montaña está el agua subterránea, esta es la cueva, [el agua] viene de hasta adentro. Aquí es la tierra [superficie] a donde sube el agua, aquí es lo que produce, [señala su dibujo] son los árboles con sus tallos”*.

4. Los espacios

Para esta categoría se definieron como espacios a los lugares en donde los niños realizan sus actividades cotidianas y de recreación, mismos que fueron representados como elementos de sus dibujos. La presencia de estos espacios es relevante porque expresan sus experiencias en la vida cotidiana al señalar el lugar ocupado por sus casas, huertos, potreros, caminos o poblados y la relación de los niños con la recreación al representarse en el río nadando y divirtiéndose (Figura 4 y 5). El agua presente como río y un espacio para nadar, como servicio ecosistémico relevante para la recreación muy valorado. En torno al espacio de la casa giran diferentes acontecimientos y vínculos con el agua y los árboles. De esta manera se explica un dibujo: *“Los árboles van a criar [crecer] más, esta es mi casa y el agua cuando va a bajar [arroyo] de la montaña”*. En las narraciones de sus dibujos y de acuerdo con su experiencia con el lugar en donde viven, en la comunidad de CNC los niños salen a pescar y a nadar con mayor frecuencia que las niñas. En Armando Zebadúa relatan que es más común que los niños acompañen a sus padres a las parcelas y cafetales a ayudar en las actividades agrícolas. Las niñas salen menos a estos espacios. A los niños y niñas les gusta que sus padres los lleven al río a nadar, aunque es menos frecuente que en CNC debido a que tienen que trasladarse fuera de la comunidad.

Figura 4. El agua como un SE proveedor de un bien y como recreación representada en los espacios cotidianos de los niños y niñas.



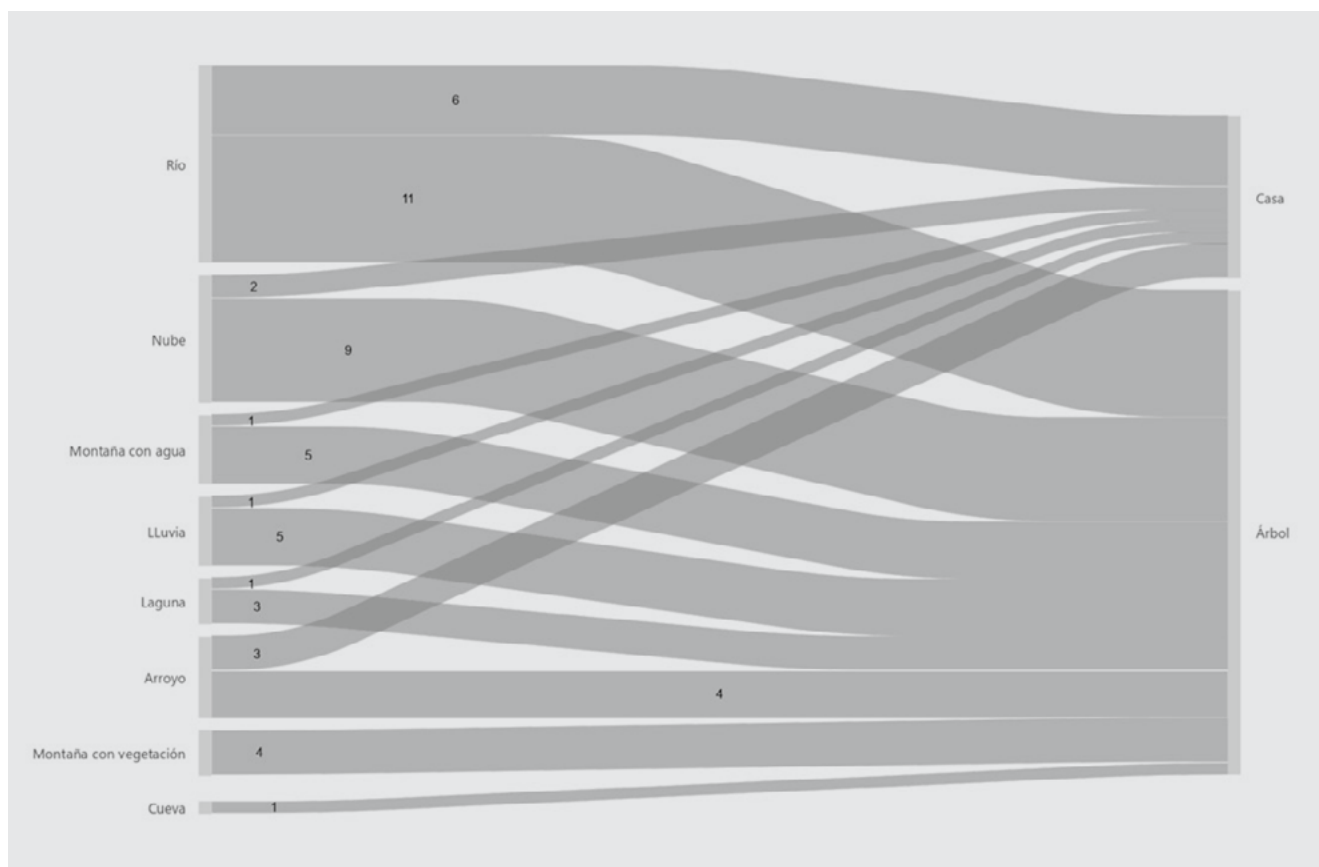
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Espacios presentes en los dibujos de los niños en ambas comunidades.

Espacios	Niñas AZ	Niñas CNC	Niños AZ	Niños CNC	Frecuencias	%
Acuicultura	0	0	0	1	1	1
Camino	2	1	4	1	8	11
Carretera	0	0	0	1	1	1
Casa	4	9	9	9	31	43
Corral	1	0	0	0	1	1
Escuela	1	0	0	0	1	1
Espacio nadar	1	2	4	1	8	11
Huerto	0	0	1	1	2	3
Persona	2	1	6	1	10	14
Playa	0	0	0	1	1	1
Poblado	0	0	2	3	5	7
Potrero	0	0	0	2	2	3
Puente	1	0	0	0	1	1
N=	12	13	26	21	72	98

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Dibujos que incluyen a la casa de los niños y la presencia de los árboles relacionados con la procedencia del agua en ambas comunidades.



Fuente: elaboración propia.

5. Animales acuáticos

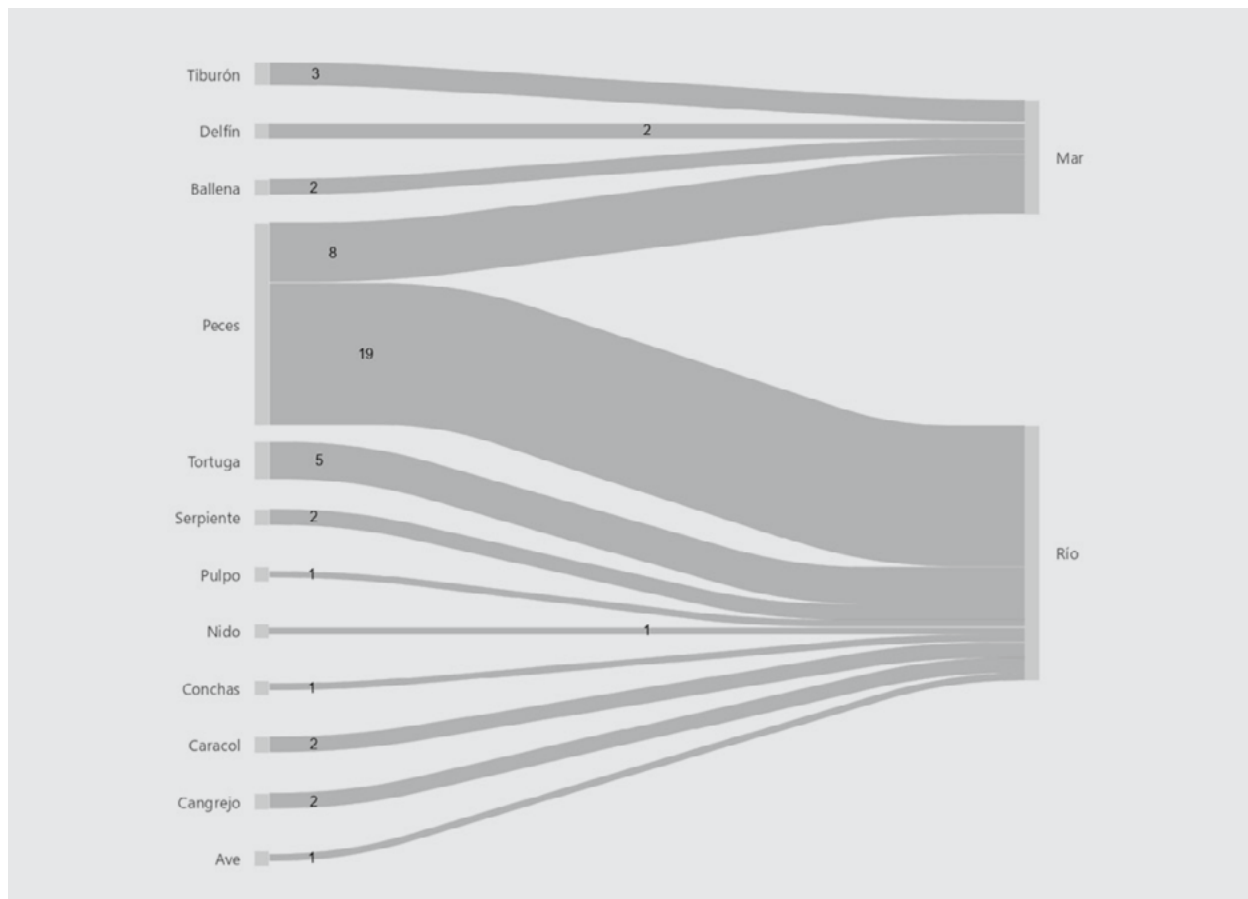
La presencia de animales acuáticos se interpretó de acuerdo a si estos eran de hábitos dulceacuícolas o marinos. Los peces fueron los animales más representados en ambos ambientes acuáticos (Figura 6). Se representaron en 27 dibujos de los 80 realizados. Esta percepción coincide con la de Castrejón (2006) para este grupo de organismos, lo cual nuevamente nos remite al papel de la experiencia:

“Cuando llueve en el cielo, se amontona el agua abajo, y cuando se amontona a veces crecen peces también”.

Los espacios marinos y los animales representados en ellos acompañan a la explicación del ciclo hidrológico

“El agua viene de la nube, cae despacio y se va al mar”.

Figura 6. Animales acuáticos: marinos y dulceacuícolas. Diagrama de Sankey representando las frecuencias de los elementos en el mar y en el río.



Fuente: elaboración propia.

6. Animales terrestres

Para la construcción de esta categoría y su análisis se consideraron animales domésticos y silvestres. En total se registraron 22 frecuencias y 7 elementos. Los animales domésticos fueron el perro (23%), gallina (18%), caballo y vaca (9% cada uno) y guajolote (4%). Los animales silvestres fueron la mariposa (23%) serpiente (18%) y venado (4%). El siguiente testimonio señala la valoración del agua para los animales domésticos: *“Los árboles dan fruto y las personas acarrear agua para que tomen y los animales también”*

7. Objetos

Se dibujaron seis elementos para esta categoría y una frecuencia de 13. De ellos corresponden a barcos (6), avión y bandera con dos frecuencias cada uno de ellos. En cuanto a lanchas, oso de peluche y tráiler todos obtuvieron una frecuencia de uno. Estos elementos acompañaron a los dibujos, relacionados principalmente con lo que los niños observan en el entorno, como cuando en la carretera cerca de la comunidad de CNC pasan los transportes de carga rumbo al puente Chiapas.

Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos sobre la percepción de los niños y niñas, esta no se manifiesta aislada, sino como la representación de una articulación de elementos materiales y de experiencias vinculadas al territorio vivido. De esta manera el agua se asocia a la lluvia, ríos y mares, pero no como objetos o aspectos aislados, sino como experiencias relacionadas y valoradas para la vida como el acarreo de agua, la lluvia o la diversión en el río. También se expresó el conocimiento al referir y describir lugares donde habitan diferentes animales acuáticos dulceacuícolas y marinos, así como las montañas y ríos. Las experiencias indirectas vinculadas a la percepción se relacionaron con los conocimientos provenientes de los medios de comunicación y con la escue-

la. Por ello los niños describieron ballenas y tiburones como animales marinos, pero donde el mar tiene relación con el ciclo hidrológico y en este sentido fue representado. La articulación de relaciones del agua con humanos y no humanos es la que debe buscarse para la interpretación y la aplicación de los resultados, sin dejar de lado que las percepciones también son diferenciales. No todos los niños expresaron lo mismo en sus dibujos y argumentos. Si bien en cuanto a las frecuencias, no se cuantificaron diferencias relacionadas con el género. Las únicas diferencias que se ubicaron están relacionadas con el contexto con respecto al acceso del agua, lo cual coincide con estudios previos sobre percepciones. En Armando Zebadúa el acceso se realiza principalmente de agua subterránea y de pozos, la cual disminuye en época de estiaje. En cambio, en CNC al momento de la investigación no presentaba esta problemática.

En la política pública los estudios de percepción pueden apoyar los aspectos a considerar en programas de educación ambiental y de difusión. El énfasis en los mismos necesita ser contextualizado de acuerdo a la zona, experiencias, necesidades e intereses de la población. Este estudio cualitativo mostró la importancia del agua para los niños como un servicio ecosistémico de provisión para el humano, así como la relación entre el agua y las montañas, del agua y su valoración para las plantas y animales principalmente domésticos que requieren de ella para vivir y crecer. Sin embargo, es necesario fortalecer el papel de la de la selva y su vegetación en la captación de agua de lluvia para el mantenimiento de las microcuencas de la zona. Se requiere también resaltar que los seres no humanos requieren del agua para sobrevivir, incluyendo a las mismas plantas, animales, hongos, entre otros, así como mantener la presencia de arroyos y ríos que albergan a otros seres en su interior.

En las políticas públicas que destaquen las actividades de educación y difusión se tiene la oportunidad de ubicar al humano, no en una dicotomía sociedad-naturaleza. Sino en un plano horizontal, como parte de la naturaleza y de su relacionalidad con el resto de los seres no humanos, vivos y no vivos, incluyendo ríos, lagunas, suelos y montañas entre otros. Las acciones requeridas en términos educativos en las diferentes políticas públicas serán de suma importancia ante los escenarios de cambio climático antropogénico y de pérdida de biodiversidad.

Referencias

- Aguilar-Cucurachi, M.S., Mercon, J. y Silva, E. (2017). Percepciones de niños y niñas para la conservación de los primates mexicanos. *Sociedad y Ambiente* (12), 99-118.
- Barraza, L. (1999). Children's drawings about the environment. *Environmental Education Research* 5(1), 49-66.
- Cano, R. (2006). *La adquisición y transmisión de conocimientos sobre el ciclo hidrológico entre niños y maestros de una comunidad aledaña a la Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala* Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cano, D. y Haller, A. (2018). Los servicios ecosistémicos hidrológicos: entre la urbanización y el cambio climático. Percepción campesina y experta en la subcuenca del río Shullcas, Perú. *Espacio y Desarrollo* 31, 7-32. <https://doi.org/10.18800/espaciodesarrollo.201801.001>
- Castrejón, M. (2006). *Conocimientos, percepciones y actitudes acerca del agua, en niños de México, de nivel primaria*. Tesis Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cavanagh, R.D., Broszeit, S., Pilling, G.M., Grant, S.M., Murphy, E.J. y Austen, M.C. (2016). Valuing biodiversity and ecosystem services: a useful way to manage and conserve marine resources? *Royal Society*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1635>
- Recuperado el 24 de marzo de 2025 <https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rspb.2016.1635>
- Constanza, R. et. al., (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Recuperado el 24 de marzo de 2025 <https://www.nature.com/articles/387253a0>
- Dove, J.E., Everett M.L., y Preece, P.F. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawings. *Journal of science education* 5(21), 485-497. <https://doi.org/10.1080/095006999290534>
- Hurtado-Torres, M.C., Montañez-Escalante, P. y Jiménez-Osorio J. (2022). La selva tropical y los servicios ecosistémicos que brinda. Percepciones de una comunidad maya del sur de Yucatán, México. *Investigaciones Geográficas* (78), 89-106. <https://doi.org/10.14198/INGEO.21124>
- Lazos, E. Lazos, E. y L. Paré. 2000. *Miradas indígenas de una naturaleza enristecida. Percepciones del deterioro ambiental entre nahuas del sur de Veracruz*, México. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México, Plaza y Valdés, México.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2003). *Ecosystems and human well being. Framework for Assessment*. USA.
- Recuperado el 20 de julio de 2023 <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>
- Pingarrón, A., Balvanera, P. y Castro, A. (2022). Una mirada sociocultural a los paisajes del trópico húmedo.
- Recuperado el 24 de marzo de 2025 https://scme.mx/wp-content/uploads/2022/11/Boletin-SCME-octubre-descarga-completa_compressed.pdf de la SCME.
- Raudsepp-Hearne C., Peterson, G., y Bennet, E. (2010). Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(52), 42-47.
- Sánchez-Cortés y Lazos, E. (2011). Indigenous perception of changes in climate variability and this relationship with agricultura in a zoque community of Chiapas, México. *Climate Change* 107(3), 363-389.
- Zamora-Lomeli, C.B. (2017). Vivir en la Reserva: las comunidades rurales, actores de la conservación. En: *Vulnerabilidad social y biológica ante el cambio climático en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote*, (pp. 67-86). San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, El Colegio de la Frontera Sur.

Anexo 1. Elementos presentes en los dibujos de los niños y niñas de ambas comunidades.

Elemento y frecuencia de mención	Niñas AZ	Niños AZ	Niñas CNC	Niños CNC
0 sin árbolesGr=22	11	10	1	0
1 un árbolGr=23	2	9	4	8
2 dos árbolesGr=10	1	4	3	2
3 tres árbolesGr=9 =	0	3	3	3
4 cuatro y más árbolesGr=9 =	0	3	4	2
AcuaculturaGr=1	0	0	0	1
Agua subterráneaGr=2	0	2	0	0
ArcoirisGr=6	3	2	1	0
ArroyoGr=7	0	0	4	3
AveGr=5	0	2	0	3
AviónGr=2	0	0	0	2
BallenaGr=3	3	0	0	0
BanderaGr=2	0	2	0	0
BarcoGr=6	1	4	1	0
BosqueGr=3	0	0	1	2
CaballoGr=2	0	1	0	1
CaminoGr=8	2	4	1	1
CangrejoGr=2	0	1	1	0
CaracolGr=3	0	0	2	1
CarreteraGr=1	0	0	0	1
CasaGr=31	4	9	9	9
CieloGr=9	1	8	0	0
ConchasGr=1	0	0	1	0
CorralGr=1	1	0	0	0
CuevaGr=7	0	7	0	0
DelfínGr=3	1	1	0	1
EscuelaGr=1	1	0	0	0
Espacio nadarGr=8	1	4	2	1
EstrellaGr=1	0	0	1	0
FloresGr=29	8	6	10	5
Frutos árbolGr=9	1	4	2	2
GallinaGr=3 II	2	1	0	0
GuajoloteGr=1	0	1	0	0
HuertoGr=2	0	1	0	1
LagunaGr=11	5	3	1	2
LanchasGr=1	0	0	0	1

LLuviaGr=46	13	26	3	4
LunaGr=5	0	2	3	0
MarGr=19	6	11	1	1
MariposaGr=3	3	0	0	0
MontañaGr=5	0	0	1	4
Montaña con aguaGr=12	1	3	3	5
Montaña con vegetaciónGr=9	0	3	3	3
NidoGr=1	0	0	0	1
NubeGr=57	13	24	9	11
oso pelucheGr=1	0	0	1	0
Palmera de cocosGr=4	0	2	0	2
PastoGr=15	2	5	5	3
PatosGr=2	1	0	1	0
PecesGr=34	4	8	12	10
PerroGr=5	0	1	1	3
PersonaGr=10	2	6	1	1
Planta de plátanoGr=2	0	1	0	1
plantas arroyoGr=2	0	0	2	0
PlayaGr=1	0	0	0	1
PobladoGr=5	0	2	0	3
PotreroGr=2	0	0	0	2
PozoGr=5	2	3	0	0
PuenteGr=1	1	0	0	0
PulpoGr=1	0	0	0	1
Raíces de árbolGr=4	0	3	1	0
RayoGr=6	0	6	0	0
RíoGr=44	7	10	12	15
RocasGr=4	3	0	2	2
SerpienteGr=4	0	1	1	2
SolGr=18	0	4	8	6
SueloGr=2	1	1	0	0
TanqueGr=1	0	1	0	0
TiburónGr=3	0	2	0	1
TortugaGr=5	0	0	2	3
TrailerGr=1	0	0	0	1
VacaGr=2	0	0	1	1
VenadoGr=1	0	1	0	0
Frecuencia total de elementos	111	236	139	156

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO QUINCE

VIVIR EL BOSQUE: PERCEPCIONES LOCALES DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN UNA MICROCUENCA DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA LA MALINCHE

Bióloga Alma Ivonne Baez Horihuela¹
Dra. Helena Cotler Avalos²

Resumen

Este capítulo analiza las percepciones sociales sobre los servicios ecosistémicos en tres localidades del Parque Nacional La Malinche, a saber, San Bartolomé Cuahuixmatlac, San Pedro Muñoztla y San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo, ubicadas en la microcuenca Chiautempan. A través de entrevistas semiestructuradas con habitantes y campesinos de estas localidades, se identificaron diferencias entre sus respuestas, ya que, en general, los habitantes valoran más los servicios culturales mientras que los campesinos los servicios ecosistémicos de abastecimiento y de regulación. Las percepciones varían según el tipo de población y el contexto local, destacando una estrecha relación entre el conocimiento tradicional, la identidad territorial y el estado del ecosistema. Los resultados evidencian la importancia de integrar los saberes y valores locales en las estrategias de restauración y conservación, reconociendo que el vínculo con el bosque es tanto material como simbólico. Esta comprensión es clave para el diseño de políticas ambientales más inclusivas y efectivas.

Palabras clave: conocimiento local, restauración participativa, identidad, cambio climático, gobernanza local

Abstract

This chapter analyses social perceptions of ecosystem services in three localities of La Malinche National Park, namely San Bartolomé Cuahuixmatlac, San Pedro Muñoztla and San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo, located in the Chiautempan micro-watershed. Semi-structured interviews with residents and farmers in these localities revealed differences in their responses, with residents generally valuing cultural services more than provisioning ecosystem services. Perceptions vary according to the type of population and the local context, highlighting a strong link between traditional knowledge, territorial identity and the state of the ecosystem. The findings highlight the importance of integrating local knowledge and values into restoration and conservation strategies, recognizing that the link to the forest is both material and symbolic. This understanding is key to designing more inclusive and effective.

Keywords: local knowledge, participatory restoration, identity, climate change, local governance

Introducción

El enfoque de los servicios ecosistémicos (SE) enfatiza las interacciones entre la biodiversidad, los ecosistemas y las diversas formas en que benefician a las sociedades humanas (MEA, 2005). Estos beneficios abarcan dimensiones materiales, sociales, espirituales, emocionales y morales (Agarwala et al., 2014; Galicia y Zarco-Arista, 2014; Rositano et al., 2013; Balvanera, 2012). Bajo este marco, los ecosistemas no solo son valorados por su capacidad de proveer recursos, sino también por su papel en la construcción de relaciones significativas

¹ Universidad Autónoma de Tlaxcala. Correo: baezhoriuelaalmaivonne@gmail.com

² Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial Correo: hcotler@centrogeo.edu.mx

entre las personas y la naturaleza (valores relacionales), por su utilidad directa (valores instrumentales), y por su existencia misma (valores intrínsecos) (Rincón-Ruiz et al., 2019; Scholte et al., 2015; Brancalion et al., 2014; Chan et al., 2012).

Las percepciones sobre los SE están profundamente influenciadas por el contexto sociocultural, histórico y económico de las comunidades (Hill et al., 2021; Ramos et al., 2018; IPBES, 2016). Estas percepciones reflejan procesos de construcción social del conocimiento, enraizados en la experiencia, la afectividad y la subjetividad (Lazos y Paré, 2005). Investigaciones previas han documentado esta diversidad perceptual en diversas regiones del mundo, como la Amazonia ecuatoriana (Caballero-Serrano, 2017), el Gran Chaco argentino (Cáceres et al., 2015) y los bosques del sudeste asiático (Sodhi et al., 2010), resaltando la necesidad de comprender estos saberes para diseñar estrategias de conservación más eficaces.

En México, distintos estudios han revelado la centralidad de las percepciones locales en la comprensión de las transformaciones socioambientales (Ortiz-Ibarra et al., 2022; López-Medellín et al., 2017; Bautista et al., 2011). Estas investigaciones destacan el papel del conocimiento tradicional y de la memoria colectiva como elementos claves en la relación entre las comunidades y su entorno.

Los estudios sobre las percepciones resaltan su crucial importancia para diseñar estrategias que fomenten la sostenibilidad, la conservación y la restauración de los ecosistemas, ya que estas percepciones son determinantes para el éxito o fracaso en la implementación efectiva de dichas estrategias (González-Molina et al., 2022; Ortega y Soares, 2022; Figueroa et al., 2016; Durand et al., 2012; Fernández, 2008). El estudio de la percepción social de la degradación ambiental y de la restauración por parte de los propietarios de la tierra, la ciudadanía y los actores gubernamentales, así como su percepción de la responsabilidad propia, nos proporciona información relevante para desarrollar capacidades sociales para una gestión del territorio más participativa, estableciendo vínculos entre la problemática forestal y la protección de las cuencas y favoreciendo procesos de gobernanza a nivel local (Ortiz-Ibarra et al., 2022; Vergara et al., 2017; Lazos-Chavero et al., 2016).

El Área Natural Protegida de La Malinche o Matlalcuéyatl se asienta en los Estados de Tlaxcala y Puebla, a lo largo de 16 municipios en el Eje Neovolcánico Transversal. Tiene 46,112 ha de extensión. Forma parte de las cuencas del río Atoyac y Guadalupe, de ahí su importancia para el abastecimiento de agua en los estados donde se ubica, a partir de los mantos freáticos de la región. No obstante, de haber sido decretado como parque nacional en 1938, muestra actualmente más del 50% de su superficie deforestada y 77% de su vegetación está en estado de degradación, debido principalmente a la expansión urbana, la tala ilegal y cambios de uso de suelo (Ramón-González y Aguilar, 2021; Tellez et al., 2019; Montero, 2012). Estas acciones también han afectado la conectividad de la fauna y flora de alta montaña de esta área natural protegida (ANP) con otros volcanes del eje neovolcánico (Salazar et al., 2022). Además, factores como los incendios forestales, las alteraciones ecosistémicas y el cambio climático, incrementan la vulnerabilidad del PNLM a la mortalidad por aumento en las poblaciones de escarabajos descortezadores (Sáenz-Romero et al., 2023; del-Val y Sáenz-Romero, 2017; Kulakowski y Jarvis, 2013; Salinas-Moreno et al., 2010).

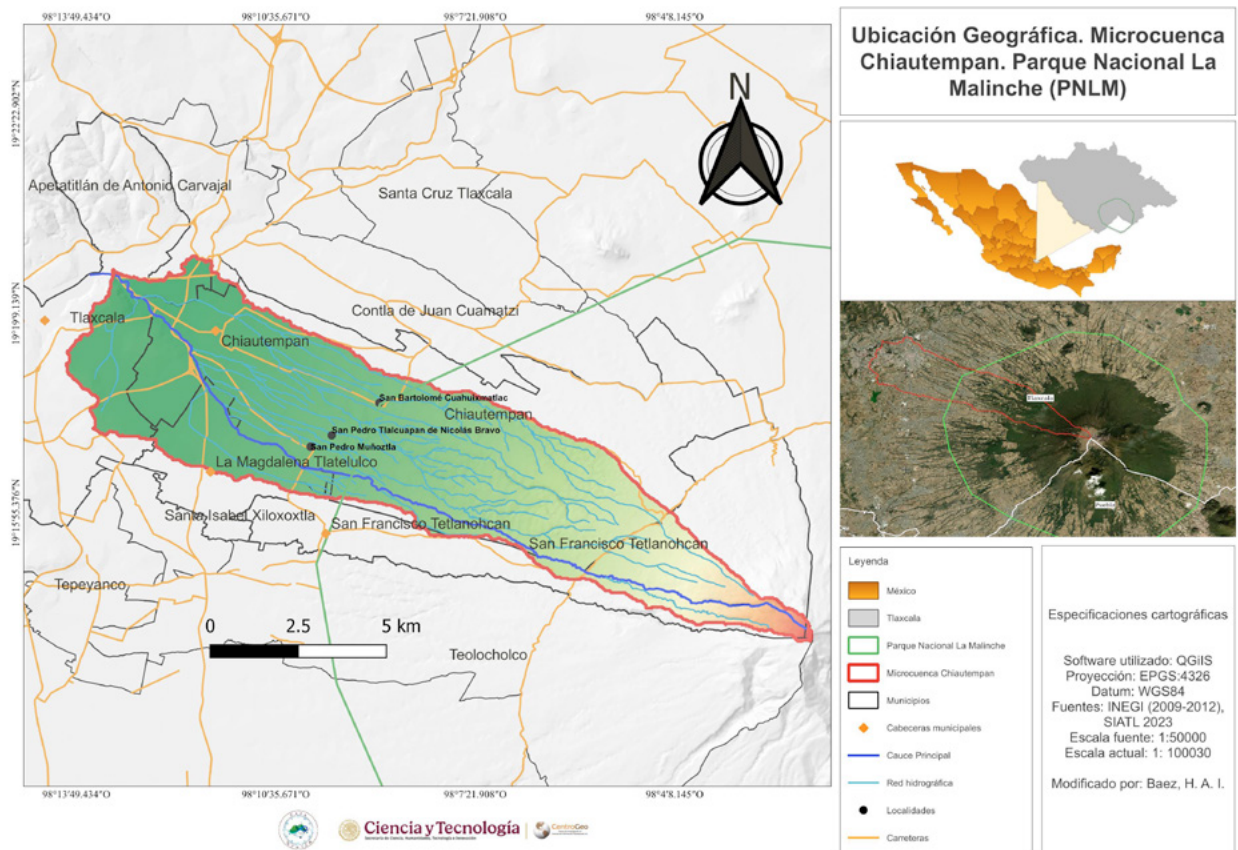
La posibilidad de restauración de estos ecosistemas dependerá en gran medida de la relación, en términos de percepciones, que tenga la población con esta área natural protegida.

Para dar una primera respuesta a esta necesidad, en el presente trabajo se identificaron y analizaron las percepciones de los habitantes y campesinos de tres localidades sobre los servicios ecosistémicos de los bosques de La Malinche.

Metodología

El área de estudio de esta investigación se ubica en la microcuenca Chiautempan, que incluye a los municipios de Chiautempan, San Francisco Tetlanohcan, San Pablo Apetatitlán, la Magdalena Tlatelulco y Tlaxcala. Esta microcuenca tiene una superficie de 81.12 km² y se ubica en las coordenadas geográficas 19° 13' 34" N y -98° 3' 20" O, con un desnivel altitudinal de 2180 a 4400 msnm. Esta microcuenca se localiza dentro de la zona de influencia y uso tradicional del PNLM, de acuerdo con la zonificación del Plan de Manejo del mismo parque (CONANP, 2013) en el municipio de Chiautempan (Figura 1).

Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca Chiautempan. El polígono rojo representa la microcuenca Chiautempan. Las tres localidades específicas donde se llevó a cabo este estudio están marcadas con puntos de color negro y pertenecen al municipio de Chiautempan, del cual toma su nombre esta microcuenca.



Fuente: elaboración propia.

El análisis de percepción se realizó en las tres localidades con mayor población total, a saber, San Bartolomé Cuahuixmatlac, San Pedro Muñoztla y San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo.

Este trabajo de investigación se basa en una investigación empírica exploratoria que incluye entrevistas semiestructuradas y entrevistas en profundidad (Katayama, 2014; Jansen, 2012).

Las entrevistas semiestructuradas retomaron los siguientes aspectos:

- Datos sociodemográficos
- Relación o interacción con el bosque

El guion fue diseñado para ser flexible, lo que permitió fomentar una interacción más cercana y personal con los entrevistados. Durante las entrevistas se formularon nuevas preguntas en función de la conversación, siguiendo las recomendaciones de Folgueiras (2016). Se elaboraron dos guiones distintos: uno para los habitantes en general y otro específico para los campesinos.

La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo dirigido a informantes clave y la técnica de bola de nieve (Geilfus, 2002). El tamaño de la muestra se determinó por el criterio de saturación (Jurgenson y Álvarez, 2003), lo que garantizó la obtención de información rica y detallada hasta el punto en que no se generaba nueva información relevante.

En marzo de 2023, se realizaron entrevistas piloto para comprobar que las preguntas fueran claras y fáciles de entender. Esto permitió ajustar el instrumento antes de aplicarlo a la muestra final.

Para realizar las entrevistas a habitantes y campesinos, se establecieron los siguientes criterios generales de inclusión:

- Edad: Ser mayor de 18 años.
- Residencia: Ser residente de la localidad.

El subgrupo “habitantes” incluyó a personas que cumplen con los criterios generales y cuya actividad principal no está relacionada con el campo, como comerciantes, amas de casa, profesionistas, empleados, estudiantes, entre otros. El subgrupo “campesinos” incluyó a personas que cumplen con los criterios generales y cuya labor predominante es dedicarse a la actividad agrícola en la zona de estudio, ya sea como propietarios, ejidatarios y/o arrendatarios.

En todas las entrevistas, se explicó de manera clara y concisa el objetivo de la investigación, y se solicitó autorización para grabar cada sesión y tomar evidencia fotográfica. En la mayoría de los casos, se entregó un consentimiento informado por escrito para cada participante.

Sistema de codificación de los datos

Con base en la teoría fundamentada —una metodología cualitativa que busca generar teoría a partir de los datos empíricos más que comprobar teorías preexistentes— se identificaron categorías teóricas emergentes mediante un proceso de codificación abierta y un método comparativo constante (Strauss y Corbin, 2016). Esta aproximación se sustenta en una inmersión profunda en el material empírico, lo que permite detectar patrones y significados que emergen directamente del discurso de los participantes, favoreciendo así una comprensión más contextualizada y profunda del fenómeno en estudio.

La información obtenida a través de las entrevistas fue codificada de forma inductiva, en concordancia con los objetivos específicos de esta investigación. Los códigos generados sirvieron para clasificar, categorizar e interpretar conceptualmente las respuestas, permitiendo la construcción de una narrativa densa y significativa a partir del corpus recopilado (Taylor y Bogdan, 1987).

Para identificar los servicios ecosistémicos percibidos por los habitantes y campesinos de las tres localidades estudiadas, se realizó una primera clasificación basada en la literatura especializada. Como referencia central se utilizó la tipología propuesta por el Millennium Ecosystem Assessment (MEA), complementada con los aportes de Galicia y Zarco-Arista (2014), Balvanera (2012), Balvanera y Cotler (2007) y Almeida Leñero et al. (2007). Sin embargo, durante la codificación de las entrevistas también surgieron categorías adicionales que reflejan servicios ecosistémicos percibidos y valorados por la población, pero que no encajaban plenamente en las clasificaciones previamente establecidas. Estas nuevas categorías se incorporaron como parte del análisis, evidenciando la riqueza del conocimiento local y su potencial para ampliar los marcos analíticos convencionales.

Resultados

En total, se entrevistaron a 42 personas en las tres localidades. El 67 % de la población entrevistada corresponde al género masculino. La edad promedio de los participantes es de 54 años. Los datos sociodemográficos por localidad se presentan en el Cuadro 1.

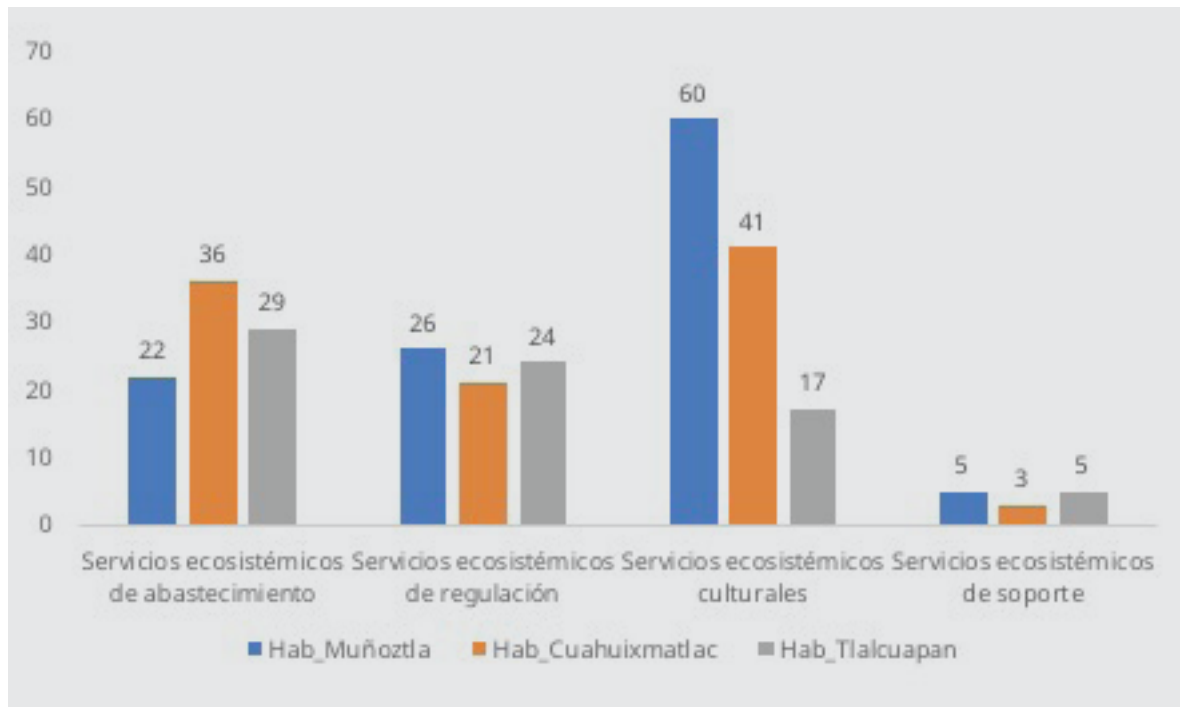
Cuadro 1. Datos sociodemográficos de población entrevistada en las tres localidades.

	Tamaño de población (hab)	Edad promedio (años)		Género Habitantes		Género Campesinos		Grado de escolaridad	
Localidad		Habitantes	Campesinos	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Habitantes	Campesinos
San Bartolomé Cuahuixmatlac	4,447	50	51	5	2	5	2	Licenciatura 43%	Secundaria 43%
San Pedro Muñoztla	4,035	46	65	3	4	5	2	Licenciatura 43%	Primaria 43%
San Pedro Tlalcuapan	4,143	56	57	3	4	7	0	Primaria trunca-Secundaria 29%	Secundaria 57%

Fuente: elaboración propia.

En el grupo de habitantes de las tres localidades analizadas, los habitantes de San Pedro Muñoztla muestran la mayor valoración de los servicios culturales, lo que refleja su fuerte enfoque en prácticas bioculturales y la preservación de su identidad. San Bartolomé Cuahuixmatlac presenta un perfil más equilibrado, con una valoración similar para los servicios de abastecimiento y culturales. Por el contrario, los habitantes de San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo priorizan los servicios de abastecimiento y regulación. En las tres localidades, los servicios de soporte son los menos valorados por los habitantes (Figura 2).

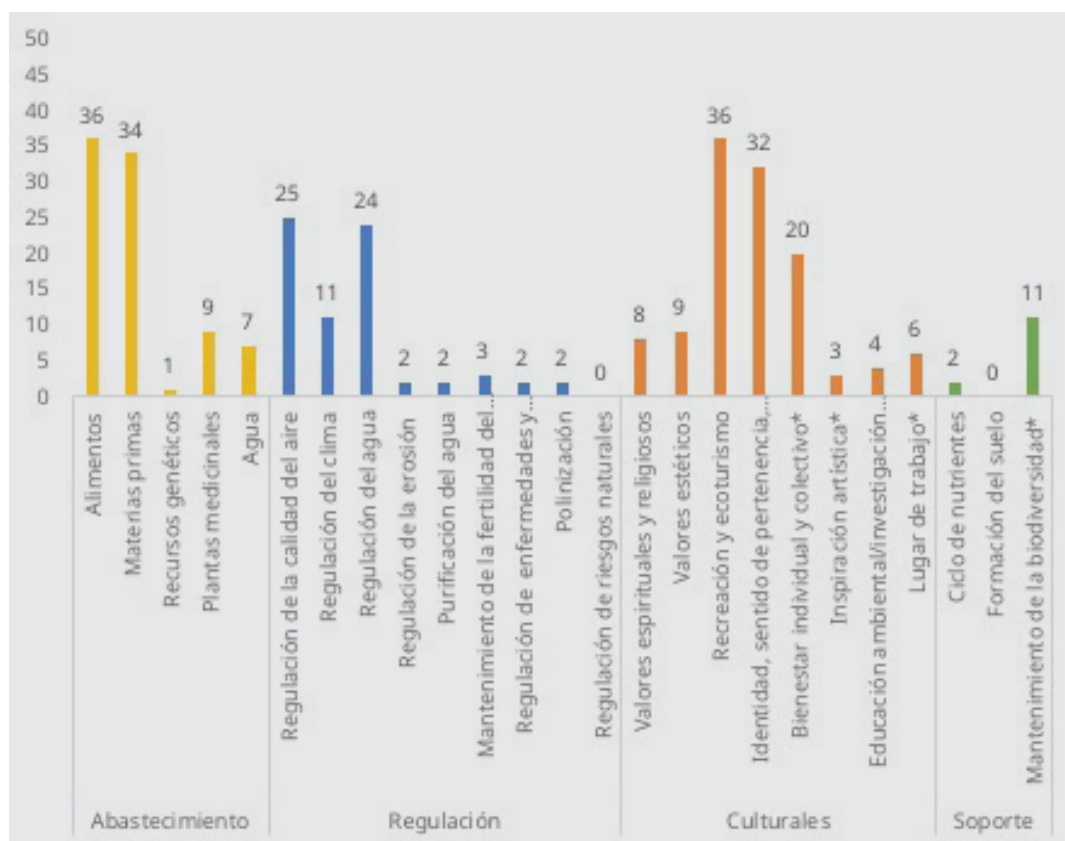
Figura 2. Gráfico comparativo de los servicios ecosistémicos, según los habitantes de San Pedro Muñoztla (azul), San Bartolomé Cuahuixmatlac (naranja) y San Pedro Tlalcuapan (gris).



Fuente: elaboración propia.

Entre los habitantes de las tres localidades, los servicios ecosistémicos culturales fueron los más importantes resaltando recreación y ecoturismo. En segundo lugar, destacaron los servicios de abastecimiento, principalmente los alimentos, con énfasis en los hongos comestibles. Los servicios de regulación ocuparon el tercer lugar, sobresaliendo la regulación de la calidad del aire. Por último, los servicios de soporte se situaron en el cuarto lugar, donde el mantenimiento de la biodiversidad fue el elemento más citado. Aunque los habitantes enumeraron más servicios ecosistémicos, en su caso no incluyen la regulación de riesgos naturales ni la formación del suelo como beneficios derivados de su interacción con el bosque (Figura 3).

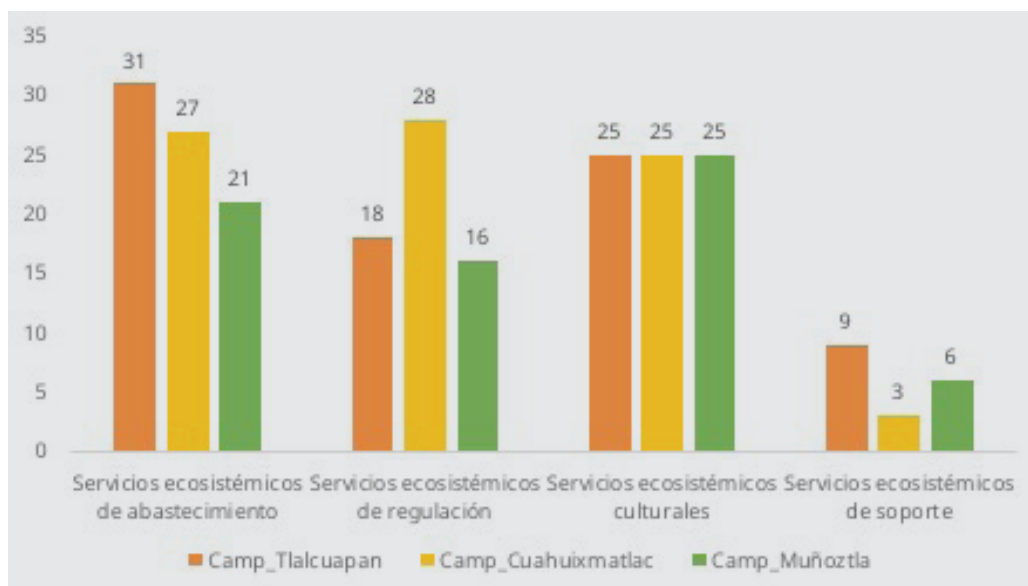
Figura 3. Valoración de servicios ecosistémicos por habitantes de las tres localidades.



Fuente: elaboración propia.

Entre los campesinos de las tres localidades analizadas, San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo registra la mayor valoración hacia los servicios de abastecimiento, mientras que San Bartolomé Cuahuixmatlac muestra un énfasis relativo en los servicios de regulación. San Pedro Muñoztla, por su parte, prioriza los servicios culturales, coincidiendo con la tendencia observada en sus habitantes. Finalmente, los servicios de soporte son los menos valorados por los campesinos en las tres comunidades (Figura 4).

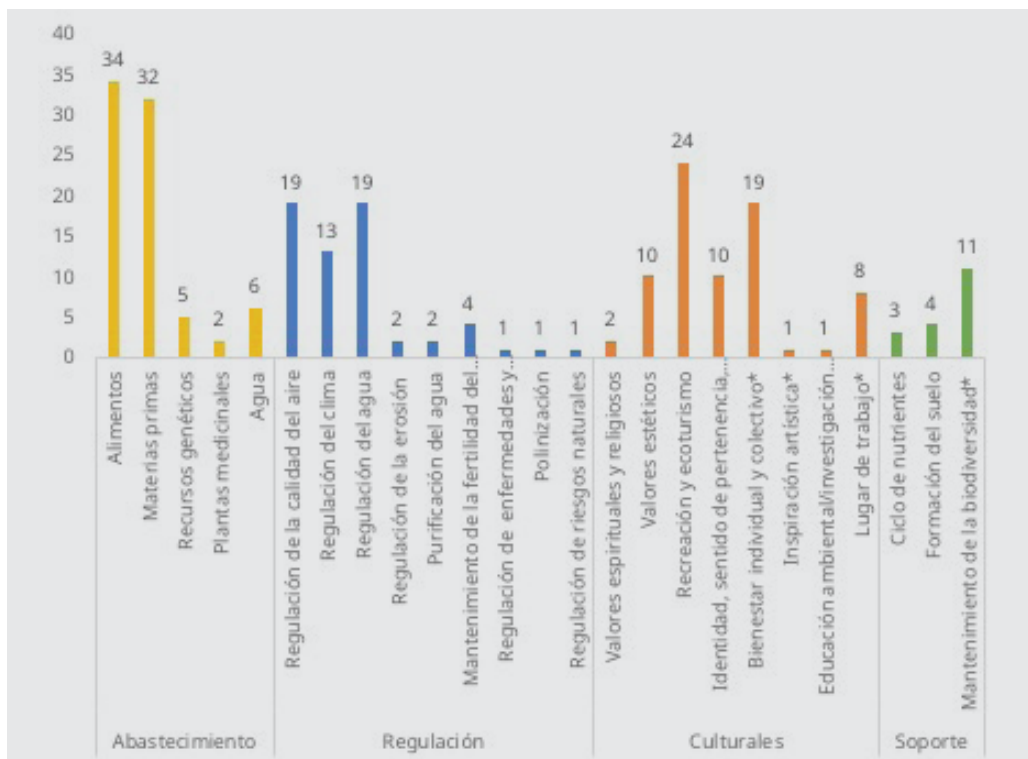
Figura 4. Gráfico comparativo de los servicios ecosistémicos, según los campesinos de San Pedro Tlalcuapan (naranja), San Bartolomé Cuahuixmatlac (amarillo) y San Pedro Muñoztla (verde).



Fuente: elaboración propia.

Entre los campesinos de las tres localidades se identificaron principalmente los servicios ecosistémicos de abastecimiento, destacando los alimentos y las materias primas como los más mencionados. En segundo lugar, reconocieron los servicios culturales, entre los que sobresalen la recreación y ecoturismo y, el bienestar individual y colectivo. Los servicios de regulación ocuparon el tercer lugar, con énfasis en la regulación de la calidad del aire y del agua, seguidos por la regulación del clima. En cuarto lugar, se ubicaron los servicios de soporte, predominando el mantenimiento de la biodiversidad y la formación del suelo. Cabe destacar que este grupo reconoció la mayor diversidad de servicios ecosistémicos, ya que ninguna categoría quedó sin ser mencionada (Figura 5).

Figura 5. Valoración de servicios ecosistémicos por campesinos de las tres localidades.



Fuente: elaboración propia.

En la localidad de San Bartolomé Cuahuixmatlac, los habitantes identifican un mayor número de servicios culturales, con predominio de la recreación y ecoturismo, seguido del bienestar individual y colectivo. La identidad y el sentido de pertenencia son valores también muy importantes para los habitantes de esta localidad, como puede leerse en uno de los comentarios recabados:

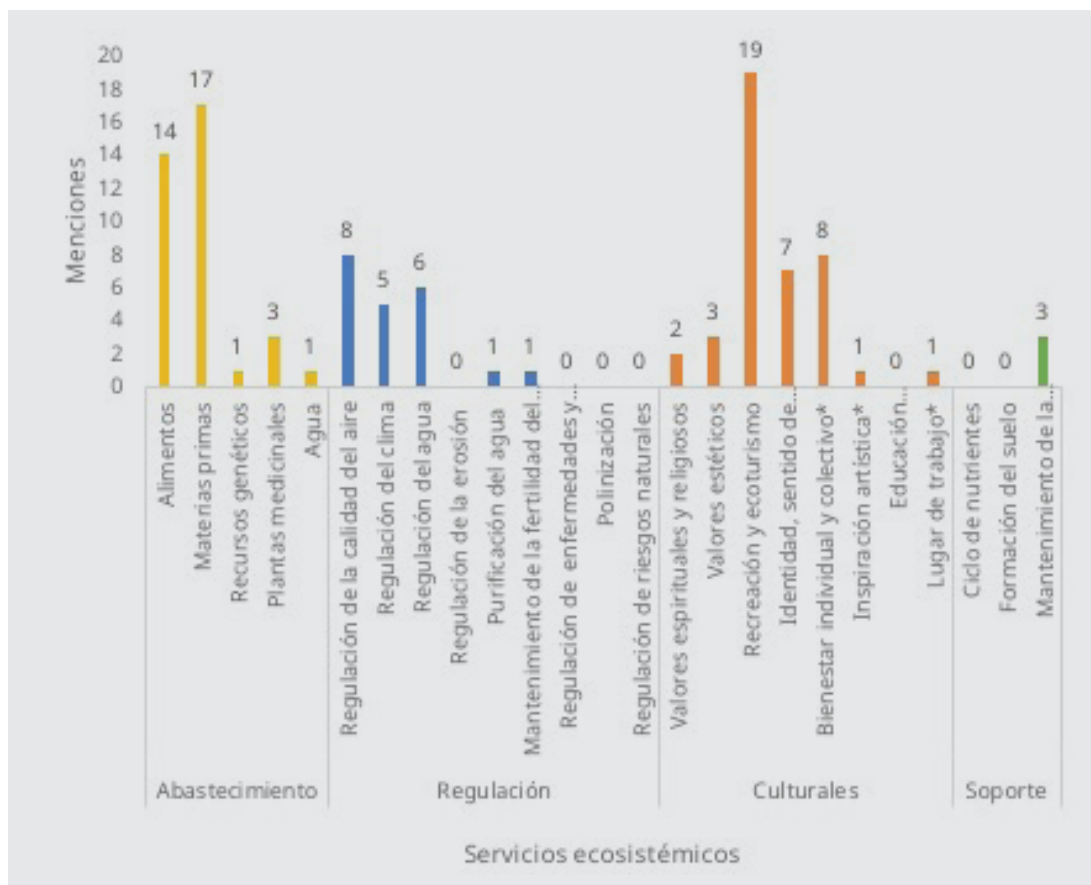
“Somos parte de y es parte de nosotros. Un árbol, una planta, un insecto, tierra, piedras, lo que crece en la milpa [...] todo es importante porque nosotros venimos de este lugar [...] se debe crear una cierta sustentabilidad para poder crecer o tener una mejor relación con la naturaleza o con el bosque.” (Jonathan, habitante).

Los servicios de abastecimiento ocuparon el segundo lugar en importancia. Dentro de esta categoría, la provisión de materias primas y de alimentos fueron los más valorados, como se menciona en esta cita:

“Son los recuerdos, los hongos, en definitiva, mi abuelita sabía buscar los hongos y me enseñó a buscar los hongos, entonces gracias a ella, a mi mamá, a mis tías, de hecho, todas, era una actividad que después me enteré que se le llamaban nanacateros, que les dicen, así les dicen, ellos no les decían así, pero simplemente fue lo que nos enseñaron los abuelos” (Juan, habitante).

En tercer lugar, se ubicaron los servicios de regulación, destacando la regulación de la calidad del aire. Finalmente, los servicios de soporte fueron los menos mencionados, siendo el mantenimiento de la biodiversidad el único servicio identificado en esta categoría (Figura 4).

Figura 4. Servicios Ecosistémicos identificados por habitantes en San Bartolomé Cuahuixmatlac, Tlaxcala (servicios con * corresponden a servicios no mencionados en la MEA, pero si por los habitantes).



Fuente: elaboración propia.

La priorización de los campesinos de San Bartolomé Cuahuixmatlac fue distinta. Ya que reconocen mejor los servicios de regulación, especialmente la regulación del agua y de la calidad del aire (Figura 5). Aunque son conscientes de los cambios que se han venido dando:

“El clima, es más caluroso, más seco, te vuelvo a repetir ya no hay la humedad que había antes cuando yo era chiquillo” (Miguel, campesino)

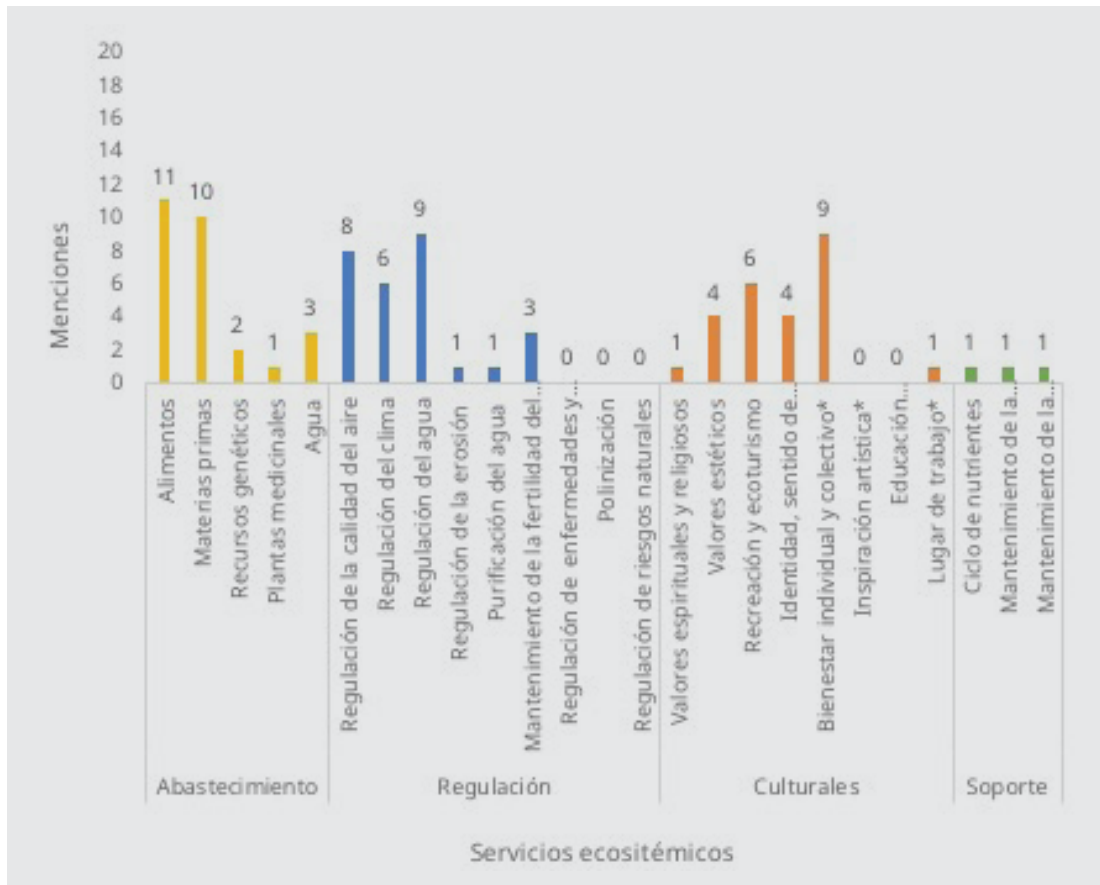
En segundo lugar, los servicios de abastecimiento, destacando los alimentos y las materias primas que proporcionaba el bosque, como se menciona en la siguiente cita:

“El bosque me proporciona algunas plantas medicinales, una fruta silvestre muy parecida a la zarzamora, y unas orugas que se daban en el madroño, a las que llamo campamochas; eran muy sabrosas, pero se perdieron. También, aquí le decimos tecol, pero ya no hay; se acabó. Ese crecía en los magueyes” (Martín, campesino).

En tercer lugar, se ubicaron los servicios culturales para los campesinos, siendo el bienestar individual y colectivo el más valorado, seguido por la recreación y ecoturismo. Los servicios de soporte fueron los menos mencionados, identificándose el ciclo de nutrientes, la formación de suelo y el mantenimiento de la biodiversidad (Figura 5).

En esta última categoría se pone mucho énfasis en la riqueza faunística. Entre las especies mencionadas por los entrevistados se encuentran mamíferos como coyotes (*Canis latrans*), conejos (*Sylvilagus spp.*), ardillas (*Sciurus spp.*), gato montés (*Lynx rufus*), tejones (*Nasua narica*), tlacuaches (*Didelphimorphia spp.*) y zorrillos (*Conepatus leuconotus*). También se identificaron aves como zopilotes (*Coragyps atratus*), búhos y correcaminos (*Geococcyx californianus*), así como reptiles como camaleones y víboras (*Crotalus rarus*). En cuanto a flora, destacan especies como el madroño (*Arbutus spp.*), tepozán (*Buddleja spp.*), ocote (*Pinus spp.*), oyamel (*Abies religiosa*), encino (*Quercus spp.*), sabino (*Taxodium mucronatum*) y maguey manso (*Agave mapisaga*).

Figura 5. Servicios Ecosistémicos identificados por campesinos en San Bartolomé Cuahuixmatlac, Tlaxcala (servicios con * corresponden a servicios no mencionados en la MEA, pero si por los campesinos).



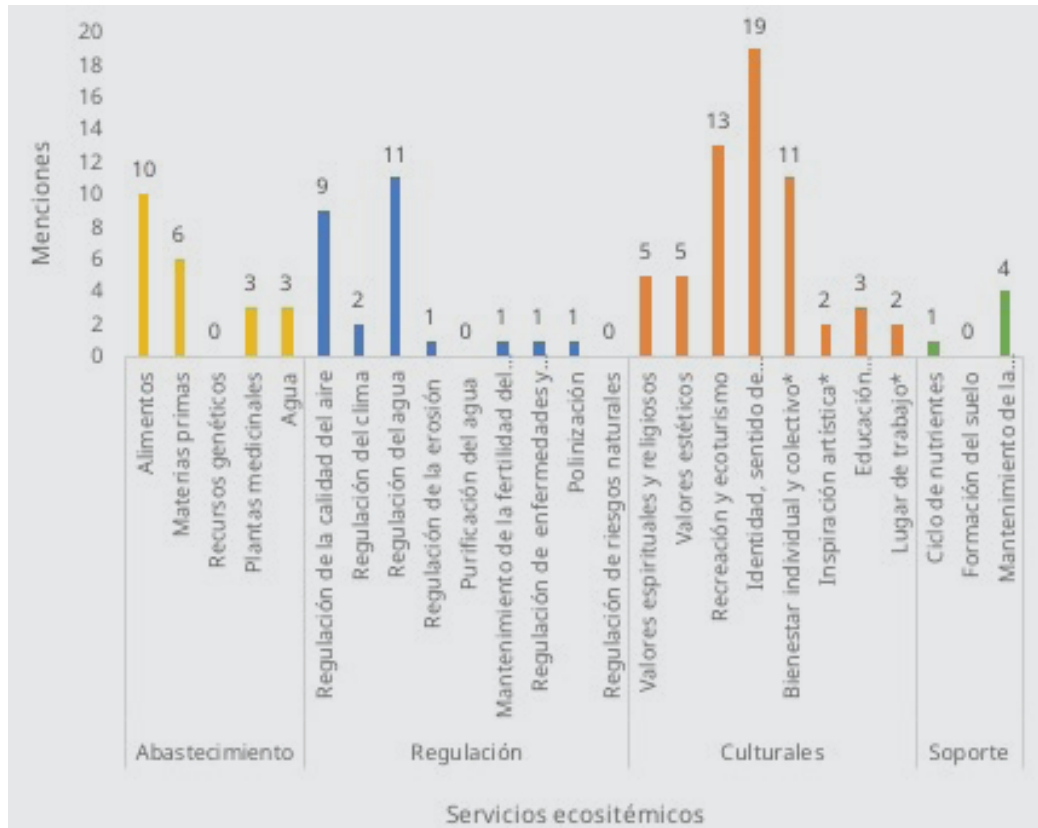
Fuente: elaboración propia.

En la localidad de San Pedro Muñoztla, para los habitantes los servicios culturales son los más importantes. Dentro de esta categoría, la identidad, sentido de pertenencia, conocimiento tradicional y patrimonio cultural, así como la recreación y ecoturismo, fueron los más valorados, tal como se expresa en la siguiente cita:

[...] nuestra relación con el bosque pues ha sido desde niños, desde la infancia igual este pues como todos ¿no? la mayor parte de la población aquí pues antes de iniciarnos involucrar con los temas de la ciudad pues estamos más como conectados con el campo, el cultivo, la tierra entonces de cierta manera creo que es algo que ya es como nuestro, ya es una conexión más bien dicha, ya es como una forma de vida, como dicen trabajar la tierra, ir a cultivar, incluso hasta para las cuestiones gastronómicas, ir a cortar algunas hierbitas para la preparación de comidas, el venir también a esas experiencias de jugar como en las barrancas, cuando bajaban las barrancadas, entonces de cierta manera, si hay una conexión, pues ya más profunda de habitar el espacio donde estamos" (Abundio, habitante).

Los servicios de regulación ocuparon el segundo lugar en importancia con predominio de la regulación del agua y de la calidad del aire. En tercer lugar, se ubicaron los servicios de abastecimiento, destacando los alimentos y las materias primas. En cuarto lugar, se ubicaron los servicios de soporte, siendo el mantenimiento de la biodiversidad y el ciclo de nutrientes los únicos mencionados en esta categoría (Figura 6).

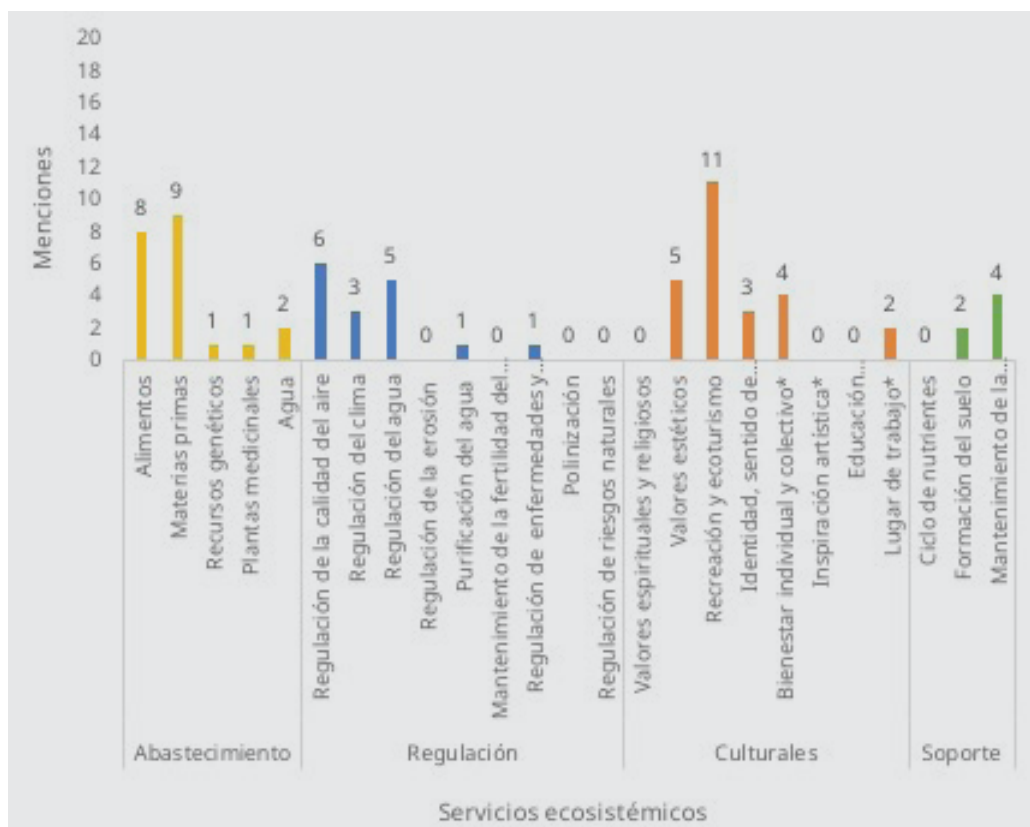
Figura 6. Servicios Ecosistémicos identificados por habitantes en San Pedro Muñoztla, Tlaxcala. (servicios con * corresponden a servicios no mencionados en la MEA, pero sí por los habitantes).



Fuente: elaboración propia.

Los campesinos de San Pedro Muñoztla también consideraron a los servicios ecosistémicos culturales como los más relevantes, destacando la recreación y ecoturismo y los valores estéticos. En segundo lugar, identificaron los servicios de abastecimiento, siendo las materias primas —principalmente la leña— las más mencionadas. Los servicios de regulación ocuparon el tercer lugar, sobresaliendo la regulación de la calidad del aire y del agua. Finalmente, los servicios de soporte fueron los menos mencionados, identificándose principalmente el mantenimiento de la biodiversidad y la formación de suelo dentro de esta categoría (Figura 7).

Figura 7. Servicios Ecosistémicos identificados por campesinos en San Pedro Muñoztla, Tlaxcala. (servicios con * corresponden a servicios no mencionados en la MEA, pero si por los campesinos).



Fuente: elaboración propia.

En la localidad de San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo, para los habitantes los servicios de abastecimiento son los más importantes. Dentro de esta categoría, los alimentos y las materias primas, fueron los más valorados. Aunque estén presentes los efectos de la deforestación, como se evidencia en la siguiente cita:

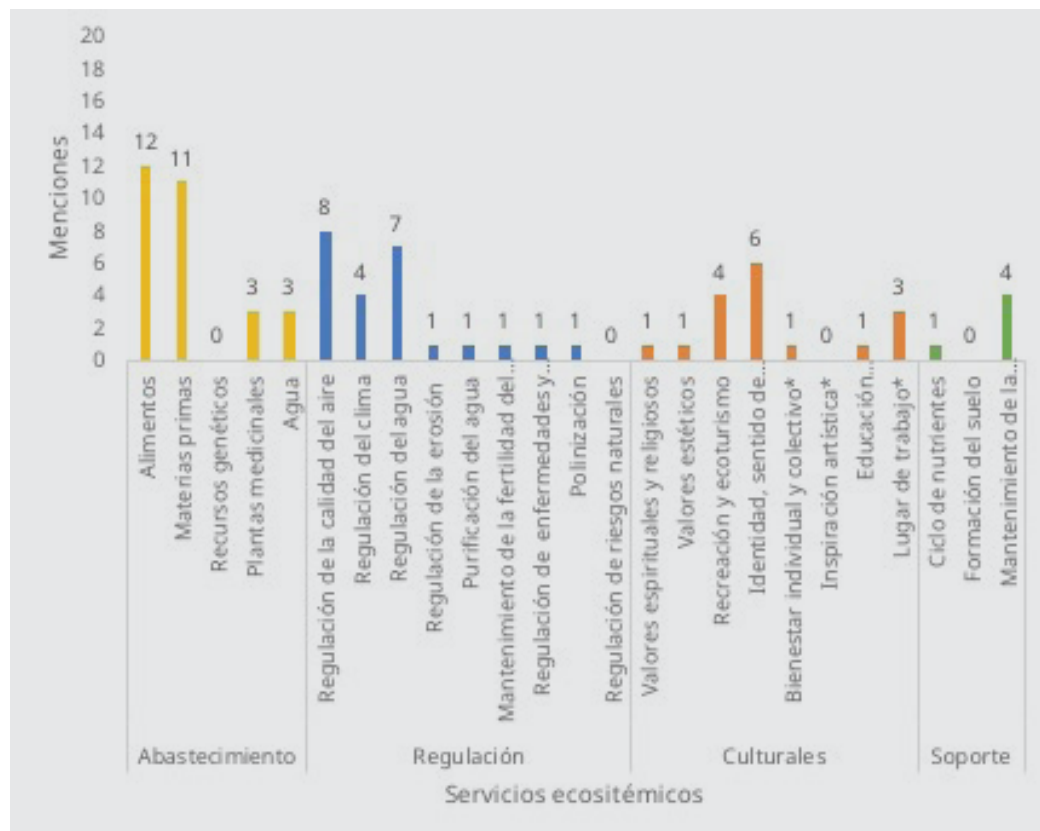
"[...]la tierra de allá se nutre, más bien se nutría por el bosque o los árboles que había, ahorita ya no hay, además de que también pasó a afectar a la fauna, la fauna era la que le daba mantenimiento y era la que permitía también ciertas cosechas" (José Luis, habitante)

Aunque la relación se mantiene:

"Pues de todo, cuando vamos al bosque, pues si nos gusta, vamos a traer los ococentles, vamos a traerlos, si no tenemos leña, pues traemos unas ramas que ya se secaron, porque nosotros todavía ocupamos la leña. Yo pongo mi nixcómil, preparo las tortillas con leña, pongo mis frijoles con leña" (Bernarda, habitante)

En segundo lugar, se ubicaron los servicios de regulación con predominio de la regulación de la calidad del aire y del agua. En tercer lugar, se ubicaron los servicios culturales, destacando la identidad, sentido de pertenencia, conocimiento tradicional y patrimonio cultural, así como la recreación y ecoturismo. En cuarto lugar, se ubicaron los servicios de soporte, siendo el mantenimiento de la biodiversidad y el ciclo de nutrientes los únicos mencionados en esta categoría (Figura 8).

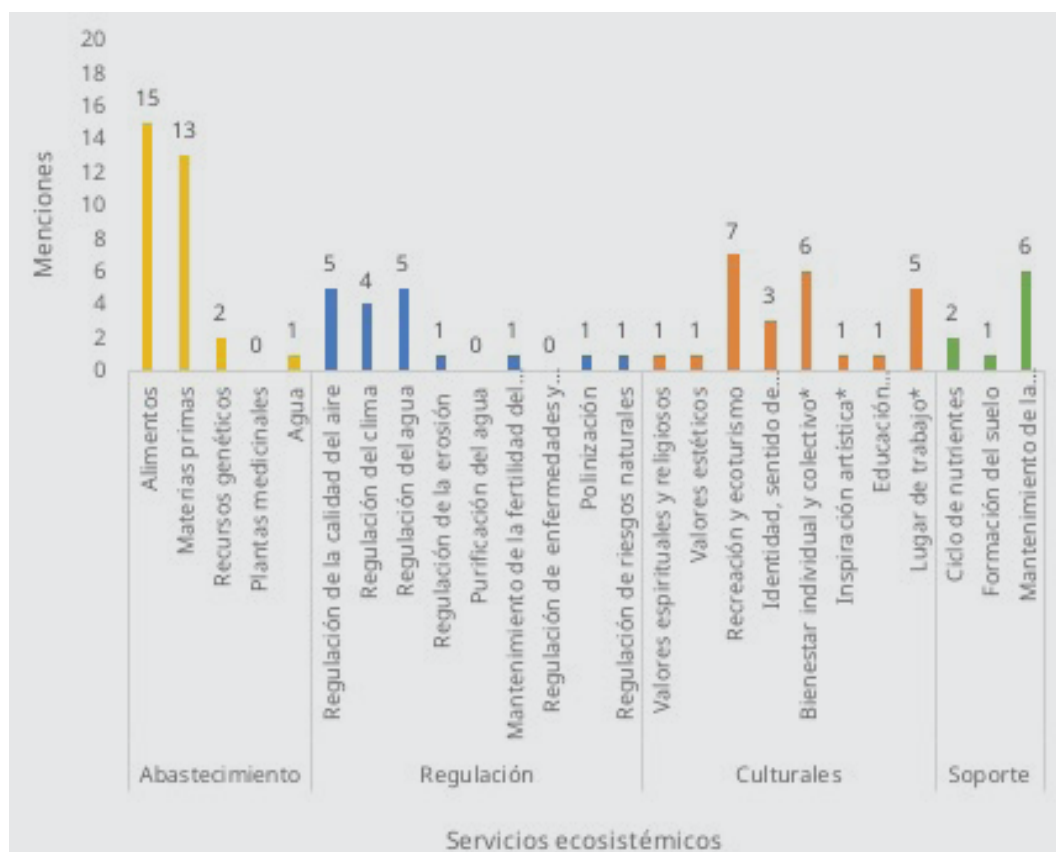
Figura 8. Servicios Ecosistémicos identificados por habitantes en San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo, Tlaxcala. (servicios con * corresponden a servicios no mencionados en la MEA, pero si por los habitantes).



Fuente: elaboración propia.

El grupo de campesinos de San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo también priorizó los servicios de abastecimiento, destacando principalmente los alimentos y las materias primas. En segundo lugar, mencionaron los servicios culturales, especialmente la recreación y ecoturismo y el bienestar individual y colectivo. Los servicios de regulación ocuparon el tercer lugar, con énfasis en la regulación de la calidad del aire y del agua, seguidos por la regulación del clima. Finalmente, los servicios de soporte se ubicaron en cuarto lugar, predominando el mantenimiento de la biodiversidad y el ciclo de nutrientes, mostrando una similitud con el grupo de habitantes (Figura 9).

Figura 9. Servicios Ecosistémicos identificados por campesinos en San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo, Tlaxcala. (servicios con * corresponden a servicios no mencionados en la MEA, pero si por los campesinos).



Fuente: elaboración propia.

En muchas de las entrevistas, tanto habitantes como campesinos evocan el pasado, recordando una época en la que existía una mayor diversidad de alimentos, vegetación, cuerpos de agua, paisajes y oportunidades de recreación. Esta percepción se vincula directamente con la intensa pérdida de cobertura forestal en la zona de La Malinche, donde más del 50% de la superficie ha sido deforestada y el 77% de su vegetación se encuentra en estado de degradación, como se mencionó previamente.

Conclusiones

Los resultados de este estudio evidencian que los servicios ecosistémicos culturales (SEC) tienen un peso central en la valoración social de los bosques de La Malinche. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas en otras regiones de América Latina y el mundo, donde se ha demostrado que los servicios ecosistémicos culturales—particularmente aquellos relacionados con la identidad, el conocimiento tradicional y el sentido de pertenencia—son fundamentales para comprender la relación entre las comunidades y su entorno natural (Rincón-Ruiz et al., 2019; Scholte et al., 2015; Agarwala et al., 2014; Brancalion et al., 2014; Chan et al., 2012). En el caso de las localidades estudiadas, estos valores relacionales parecen consolidar un vínculo emocional, simbólico y práctico con el bosque, que va más allá de su función material. Lejos de ser una categoría abstracta, estos servicios representan vínculos profundos con la identidad, la memoria, el conocimiento tradicional y el sentido de pertenencia al territorio.

Es importante destacar las diferencias observadas entre los habitantes y los campesinos en cuanto a la identificación y jerarquización de los servicios ecosistémicos. Mientras que los habitantes priorizan los servicios ecosistémicos culturales, los campesinos muestran una visión más amplia y diversificada de los beneficios del bosque, reconociendo en mayor medida los servicios de abastecimiento y regulación. Esta divergencia puede explicarse por los distintos roles que desempeñan ambos grupos en el uso y manejo del territorio: los campesinos,

al tener una relación más directa con los procesos productivos, tienden a valorar también aquellos servicios que sostienen su economía doméstica y su cotidianidad agrícola. Además, el reconocimiento explícito de los cambios ambientales, como el aumento de la temperatura o la pérdida de especies, evidencia una sensibilidad ecológica construida desde la experiencia y el contacto continuo con el ecosistema.

Asimismo, los resultados subrayan la importancia de integrar estas percepciones locales en las políticas de conservación, restauración y manejo de áreas naturales protegidas. Como han señalado Figueroa et al. (2016) y Lazos-Chavero et al. (2016), las estrategias ambientales que no consideran los valores y conocimientos locales tienen altas probabilidades de fracasar, al carecer de legitimidad y de mecanismos efectivos de participación comunitaria. En este sentido, los resultados sugieren que los servicios ecosistémicos culturales pueden funcionar como un punto de entrada para fortalecer procesos de gobernanza local, fomentar prácticas de restauración ecológica culturalmente sensibles y generar vínculos más sólidos entre las comunidades y las instituciones encargadas de la gestión ambiental.

La priorización variable de los servicios ecosistémicos entre localidades también señala la necesidad de enfoques diferenciados por contexto en las estrategias de manejo. Por ejemplo, en San Pedro Muñoztla, la alta valoración de los servicios ecosistémicos culturales sugiere que los proyectos de conservación pueden apoyarse en actividades como el ecoturismo comunitario o la revitalización de saberes tradicionales. En cambio, en localidades donde los servicios de abastecimiento tienen mayor peso, como San Pedro Tlalcuapan de Nicolás Bravo, podrían impulsarse iniciativas agroforestales o de uso sustentable de productos forestales no maderables, que integren el conocimiento local y promuevan la resiliencia socioecológica.

Finalmente, la identificación de especies animales y vegetales en riesgo, así como la memoria de especies desaparecidas, apunta a una percepción aguda del deterioro ambiental, que puede ser aprovechada como una herramienta poderosa para la educación ambiental y la restauración participativa. El conocimiento ecológico local, expresado en estas narrativas, constituye una base invaluable para la planeación adaptativa en escenarios de cambio climático, pérdida de biodiversidad y crisis hídrica.

Referencias

- Agarwala, M., Atkinson, G., Fry, B. P., Homewood, K., Mourato, S., Rowcliffe, J. M., ... y Milner-Gulland, E. J. (2014). Assessing the relationship between human well-being and ecosystem services: a review of frameworks. *Conservation and Society*, 12(4), 437-449.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1-2).
- Balvanera, P., y Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, (84-85), 8-15.
- Bautista, F., Zapata, A. M. B., Alberto, J. N., y Bocco, G. (2011). Percepción social de los problemas ambientales en Yucatán, México: Una visión desde la geografía. *Teoría y Praxis*, (9), 33-54.
- Brançalion, P. H., Cardozo, I. V., Camatta, A., Aronson, J., y Rodrigues, R. R. (2014). Cultural ecosystem services and popular perceptions of the benefits of an ecological restoration project in the Brazilian Atlantic Forest. *Restoration ecology*, 22(1), 65-71.
- Caballero-Serrano, V., Alday, J. G., Amigo, J., Caballero, D., Carrasco, J. C., McLaren, B., y Onaíndia, M. (2017). Social perceptions of biodiversity and ecosystem services in the Ecuadorian Amazon. *Human Ecology*, 45, 475-486.
- Cáceres, D. M., Tapella, E., Quétier, F., y Díaz, S. (2015). The social value of biodiversity and ecosystem services from the perspectives of different social actors. *Ecology and Society*, 20(1): 62. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07297-200162>
- Chan, K. M., Guerry, A. D., Balvanera, P., Klain, S., Satterfield, T., Basurto, X., ... y Woodside, U. (2012). Where are cultural and social in ecosystem services? A framework for constructive engagement. *BioScience*, 62(8), 744-756.
- Caro-Caro, C. I., y Torres-Mora, M. A. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Orinoquia*, 19(2), 237-252.
- CONANP (2013). Programa de Manejo Parque Nacional La Montaña Malinche o Matlacuéyatl. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, primera edición.
- del-Val, E., y Sáenz-Romero, C. (2017). Insectos descortezadores (Coleoptera: Curculionidae) y cambio climático: problemática actual y perspectivas en los bosques templados. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 20(2), 53-60.
- Durand, L., Figueroa, F., y Guzmán, M. (Eds.). (2012). *La naturaleza en contexto: hacia una ecología política mexicana* (pp. 237-267). **Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.**
- Fernández, M. Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales?: Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral* (Guadalajara), 15(43), 179-202.
- Figueroa, F., Caro-Borrero, Á., Revollo-Fernández, D., Merino, L., Almeida-Lenero, L., Paré, L., ... y Mazari-Hiriart, M. (2016). "I like to conserve the forest, but I also like the cash". Socioeconomic factors influencing the motivation to be engaged in the Mexican Payment for Environmental Services Programme. *Journal of forest economics*, 22, 36-51.
- Folgueiras, B. P. (2016). La entrevista. Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona. <https://hdl.handle.net/2445/99003>
- Galicia, L., Gómez-Mendoza, L., y Magaña, V. (2015). Climate change impacts and adaptation strategies in temperate forests in Central Mexico: A participatory approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(1), 21-42. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9477-8>
- Galicia, L., y Zarco-Arista, A. E. (2014). Multiple ecosystem services, possible trade-offs and synergies in a temperate forest ecosystem in Mexico: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 10(4), 275-288. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.973907>
- Geilfus, F. (2002). *80 herramientas para el desarrollo participativo*. IICA.
- González-Molina, H. Z., Trilleras, J. M., Pyszcsek, O. L., y Romero-Duque, L. P. (2022). Restauración ecológica participativa y servicios ecosistémicos culturales: una relación necesaria. *Acta botánica mexicana*, (129).
- Hill, R., Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Molnár, Z., y Van Velden, J. (2021). Nature's contributions to people: Weaving plural perspectives. *One Earth*, 4(7), 910-915.
- IPBES (2016). In The Assessment Report of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollinators and Food Production, S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, and H.T. Ngo, eds. (IPBES). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>.
- Jansen, H. (2012). La lógica de la investigación por encuesta cualitativa y su posición en el campo de los métodos de investigación social. *Paradigmas: Una revista disciplinar de investigación*, 5(1), 39-72.
- Jurgenson, G. y Álvarez, J. L. (2003). *Cómo hacer investigación cualitativa: fundamentos y metodología*. México: Paidós Ecuador.
- Katayama, O. R. J. (2014). *Introducción a la investigación cualitativa: Fundamentos, métodos, estrategias y técnicas*. Universidad Inca Garcilaso de la Vega.
- Kulakowski, D., y Jarvis, D. (2013). Low-severity fires increase susceptibility of lodgepole pine to mountain pine beetle outbreaks in Colorado. *Forest Ecology and Management*, 289, 544-550.
- Lazos E., Paré L. 2005. Miradas indígenas sobre una naturaleza entristecida. Percepciones del deterioro ambiental entre nahuas del sur de Veracruz. UNAM-Plaza y Valdes, 220p. México
- Lazos-Chavero, E., Zinda, J., Bennett-Curry, A., Balvanera, P., Bloomfield, G., Lindell, C., y Negra, C. (2016). Stakeholders and tropical reforestation: challenges, trade-offs, and strategies in dynamic environments. *Biotropica*, 48(6), 900-914.
- Leñero, L. A., Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., de Jesús Ordoñez, M., Jujnovsky, J. (2007). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica*, (84), 53-64.
- López-Medellín, X., Vázquez, L. B., Valenzuela-Galván, D., Wehncke, E., Maldonado-Almanza, B., y Durand-Smith, L. (2017). Percepciones de los habitantes de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla: hacia el desarrollo de nuevas estrategias de manejo participativo. *Interciencia*, 42(1), 8-16. <https://doi.org/0378-1844/14/07/468-08>
- MEA, 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC.
- Montero, G. I. A. (2012). Matlacuēyē. El volcán del alma tlaxcalteca. Secretaría de Educación Pública de Tlaxcala.
- Ortega, L. S., y Soares de Moraes, D. (2022). El papel de las percepciones sociales en el impacto de programas de conservación. *Siembra*, 9(1).
- Ortiz-Ibarra, A., Molina-Luna, N. G., Martínez-y-Ojeda, E., y Martínez-López, J. (2022). La percepción local de la transformación del paisaje en San Juan Teposcolula, Oaxaca México. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 25(SPE).

- Ramón-González, J. A., y Aguilar, A. G. (2021). Expansión urbana irregular, cambio de uso del suelo y deterioro ambiental en la periferia norte de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala: el caso del Parque Nacional La Malinche. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 441-458.
- Ramos, A., Jujnovsky, J., y Almeida-Leñero, L. (2018). The relevance of stakeholders' perceptions of ecosystem services in a rural-urban watershed in Mexico City. *Ecosystem Services*, 34, 85-95.
- Rincón-Ruiz, A., Arias-Arévalo, P., Hernández, J. M. N., Cotler, H., Caso, M. A., Meli, P., ... y Waldron, T. (2019). Applying integrated valuation of ecosystem services in Latin America: Insights from 21 case studies. *Ecosystem Services*, 36, 100901.
- Rositano, F., López, M., Benzi, P., y Ferraro, D. O. (2013). Servicios de los ecosistemas: un recorrido por los beneficios de la naturaleza. *Agronomía y Ambiente*, 32(1-2).
- Sáenz-Romero, C., Cambrón-Sandoval, V. H., Hammond, W., Méndez-González, J., Luna-Soria, H., Macías-Sámano, J. E., ... y Del-Val, E. (2023). Abundance of *Dendroctonus frontalis* and *D. mexicanus* (Coleoptera: Scolytinae) along altitudinal transects in Mexico: Implications of climatic change for forest conservation. *Plos one*, 18(7), e0288067.
- Salazar, B. C., Miranda, S. G., y Haro, A. T. (2022). La agonía de los bosques de La Malinche. *Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*, 123.
- Salinas-Moreno, Y., Vargas, M. C. F., Zúñiga, G., Víctor, J., Ager, A., y Hayes, J. L. (2010). Atlas de distribución geográfica de los descortezadores del género *Dendroctonus* (Curculionidae: Scolytinae) en México. *Instituto Politécnico Nacional, Comisión Nacional Forestal, México, DF*, 31.
- Scholte, S. S., Van Teeffelen, A. J., y Verburg, P. H. (2015). Integrating socio-cultural perspectives into ecosystem service valuation: A review of concepts and methods. *Ecological economics*, 114, 67-78.
- Sodhi, N. S., Lee, T. M., Sekercioglu, C. H., Webb, E. L., Prawiradilaga, D. M., Lohman, D. J., ... y Ehrlich, P. R. (2010). Local people value environmental services provided by forested parks. *Biodiversity and Conservation*, 19, 1175-1188.
- Strauss, A., y Corbin, J. (2016). *Bases de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Universidad de Antioquia.
- Taylor, S. J., y Bogdan, R. (1987). Introducción a los métodos cualitativos de investigación (Vol. 1, p. 348). Barcelona: Paidós.
- Tellez, M. C. L., Cabral, V. C., y Carmona, G. R. (2019). Parque Nacional La Malinche y el impacto ecológico social de su decreto como Área Natural Protegida1. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 19(36).
- Vergara, G. C. V. (2017). Percepción social de los servicios ecosistémicos en la microcuenca El Padmi, Ecuador. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 27, 102-114.

CONCLUSIONES

Dr. Pedro Álvarez Icaza Longoria¹

Dr. Daniel Alfredo Revollo Fernández²

Dra. Lilia Rodríguez Tapia³

A escala global y nacional, las presiones antropogénicas sobre los ecosistemas, los recursos naturales y los procesos ecológicos se han intensificado, lo que ha derivado en fenómenos como la escasez de recursos, la migración, y el aumento de las desigualdades territoriales y sociales. En este contexto, la valoración de los SE constituye una herramienta fundamental para visibilizar, cuantificar y reconocer el papel estratégico que desempeña la naturaleza tanto en términos intrínsecos como funcionales para la supervivencia y el bienestar humano.

Esta reflexión adquiere una relevancia más notable cuando nos enfocamos en las ANP, espacios donde se resguarda gran parte de la biodiversidad nacional y que, a su vez, proveen una multiplicidad de SE vitales, entre los cuales destacan la regulación climática, la seguridad alimentaria, el mantenimiento de ciclos hidrológicos, y la preservación de la riqueza biocultural, elementos que sustentan no solo a las comunidades que habitan las ANP, sino también a zonas urbanas de diversa magnitud.

Impulsar el conocimiento y la difusión del valor de los SE generados en las ANP, implica situarlos en el núcleo de los procesos de planeación del desarrollo, la conservación ambiental y la formulación de políticas de bienestar social. Dicho posicionamiento, exige incorporar la valoración de SE como un componente transversal de las agendas públicas, más allá del ámbito técnico o académico.

Uno de los principales aportes de los capítulos del libro es corroborar la necesidad de avanzar hacia marcos conceptuales y metodológicos que promuevan visiones integrales en los estudios de valoración. Esto supone ir más allá de los enfoques antropocéntricos tradicionales centrados en el valor económico, e incorporar dimensiones igualmente relevantes como los valores bioculturales, las cosmovisiones locales, y los vínculos espirituales y simbólicos que las comunidades indígenas y rurales mantienen con su entorno. Incluir estos aspectos bajo principios de interculturalidad y equidad, permite superar los sesgos que han privilegiado históricamente la dimensión económica sobre la biofísica y social, lo que contribuye a una comprensión holística de los SE y a la visualización de sus interacciones e interdependencias con los procesos ecológicos, sociales y económicos.

Cabe destacar que, el proceso colaborativo que dio origen a este libro permitió identificar oportunidades, constatar vacíos críticos y plantear retos futuros en torno a la valoración de los SE en las ANP, entre los cuales destacan los siguientes:

1. Instrumentalización de los resultados para políticas públicas:
Uno de los principales desafíos, al cual se enfrentan los estudios de valoración es trascender su carácter académico, a través de rutas claras de su aplicación operativa, estratégica y normativa de sus hallazgos. Esto requiere del diseño y la implementación de mecanismos que integren los resultados de las valoraciones en políticas públicas intersectoriales, con incidencia efectiva en la gestión territorial de las ANP, tal y como la preservación de la biodiversidad y los procesos ecológicos –en cantidad y calidad– y la institucionalización de la valoración en dependencias gubernamentales como la Conanp, entre otros.
2. Diseño de estrategias de financiamiento para la conservación:
La valoración de SE ofrece una oportunidad relevante para

1 Titular de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Correo: p.alvarezicaza@conanp.gob.mx

2 Profesor-Investigador del Departamento de Economía SECIHTI-UAM-A. Correo: darf@azc.uam.mx

3 Coordinadora de la Especialización en Economía y Gestión del Agua. UAM-A. Correo: lrt@azc.uam.mx

el desarrollo de instrumentos económico-financieros innovadores, acordes al contexto rural de las ANP y orientados a su conservación. Entre estos destacan por mencionar algunos, los esquemas de pagos por servicios ambientales, los bonos verdes, los fondos fiduciarios y los mecanismos de compensación por pérdida de biodiversidad, todos ellos orientados a internalizar externalidades (costos ocultos por degradación) y fortalecer una economía basada en la conservación y el uso sostenible del capital natural, un área en la que México cuenta con un alto potencial, tanto por su biodiversidad existente como por una limitada articulación entre la valoración ecosistémica y las políticas públicas que financian la conservación. En este sentido, los Programas de Manejo de las ANP representan un instrumento idóneo para formalizar el diseño de estrategias de financiamiento orientadas al manejo efectivo.

3. Fortalecimiento de redes interinstitucionales e intersectoriales: El posicionamiento efectivo del tema de valoración demanda la consolidación de redes de colaboración entre instituciones académicas, organismos gubernamentales en sus tres niveles, comunidades locales, el sector privado y organismos de cooperación internacional. Estas alianzas son fundamentales para el intercambio de información, fomentar la innovación, la formación de capacidades y la implementación de soluciones adaptadas a la diversidad de contextos territoriales heterogéneos como las ANP.
4. Enfrentar retos emergentes: La valoración de SE deberá responder a desafíos complejos y crecientes, tales como la intensificación de las presiones antropogénicas, el cambio climático, la fragmentación de ecosistemas, los conflictos socioambientales y la urgente necesidad de transitar hacia modelos de desarrollo regenerativos, entre otros. Para ello, será esencial reforzar su rigurosidad holística y metodológica, ampliar la disponibilidad y apertura de bases datos e información digital esencial (por ejemplo, imágenes satelitales), fomentar una participación social informada, y consolidar capacidades técnicas que permitan mantener actualizados los estudios y hacerlos útiles para la toma de decisiones.
5. La convergencia de avances conceptuales, metodológicos y tecnológicos, junto con una creciente conciencia pública y política sobre el valor estratégico de la naturaleza, configura una ventana de oportunidad para posicionar la valoración de los SE como una herramienta clave en la conservación ambiental y en el diseño de modelos de desarrollo regenerativo, acompañados de estrategias y mecanismos de financiamiento eficaces en las ANP. Fortalecer estos procesos —objetivo central de este libro— puede contribuir de manera significativa a la conservación de la funcionalidad ecológica, la preservación de la integridad biocultural de los territorios, y en el bienestar presente y futuro de las comunidades que habitan en las ANP.
6. La valoración de los SE no debe entenderse como un fin en sí mismo, sino como un instrumento estratégico orientado a repensar la formulación de políticas públicas, la asignación de recursos y la promoción de la conservación del patrimonio natural de México. En este marco, las ANP constituyen un núcleo articulador de dicha visión y, en consecuencia, requieren un respaldo técnico, político y financiero que garantice su efectividad como instrumento.

El contenido de este libro es resultado de un esfuerzo colectivo de investigación y análisis técnico, desarrollado por especialistas de diversas instituciones académicas, organizaciones civiles y dependencias públicas. Las ideas, opiniones, interpretaciones y conclusiones expresadas en los capítulos son responsabilidad exclusiva de sus autoras y autores, y no reflejan necesariamente la postura oficial de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), ni de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), ni tampoco de las organizaciones financiadoras.

La información, datos y resultados aquí presentados se publican con fines académicos, científicos y de difusión, y deben ser interpretados considerando su contexto metodológico y temporal. Si bien se procuró la máxima precisión y rigor técnico en la elaboración de los textos, las instituciones coordinadoras no asumen responsabilidad alguna por el uso, aplicación o interpretación que terceros hagan del contenido de esta obra.

Se autoriza su reproducción total o parcial únicamente con fines educativos, científicos o de difusión, siempre que se cite de manera completa la fuente, el título de la obra y las autorías correspondientes. Queda estrictamente prohibida la reproducción o utilización con fines de lucro, modificación o distribución no autorizada del contenido sin el consentimiento previo y por escrito de los titulares de los derechos y de las instituciones coordinadoras.

Este libro se imprimió por encargo de la Comisión Nacional
de Áreas Naturales Protegidas y de la Universidad
Autónoma Metropolitana
En Hemisferio D Comunicación Gráfica, S.A. de C.V.
Juan A. Mateos 47-10 Col. Obrera C.P. 06800
Tel. 5555239839
www.hemisferioderecho.mx

El tiraje fue de 800 ejemplares

Octubre, 2025

**Universidad Autónoma Metropolitana
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas**

México es un país de extraordinaria diversidad biológica y cultural, donde los ecosistemas sostienen la vida y el equilibrio ecológico, fortalecen las economías locales, generan medios de vida y preservan identidades, saberes y prácticas ancestrales. En este entramado, las Áreas Naturales Protegidas federales resguardan una parte fundamental del capital natural y biocultural del país, actuando como territorios vivos donde convergen biodiversidad, cultura y acción colectiva.

Sin embargo, estas áreas enfrentan crecientes amenazas: presiones económicas, extractivas y estructurales que ponen en riesgo su invaluable contribución al bienestar humano y al futuro de las comunidades que dependen de ellas.

Este libro reúne un conjunto de trabajos que, desde una visión holística, abordan tres dimensiones clave -la biofísica, la económica y la social- para ofrecer una perspectiva innovadora sobre el valor de los servicios ecosistémicos en las Áreas Naturales Protegidas federales de México. A través de diversos estudios de caso, la obra invita a repensar cómo entendemos, gestionamos y valoramos nuestros ecosistemas, reconociendo que la conservación no es solo una labor técnica, sino también un acto profundamente humano, que debe ir acompañado de estrategias financieras y decisiones colectivas orientadas a un futuro más justo, inclusivo y sustentable.



9 786072 834910