



DOI: 10.29298/rmcf.v17i96.1672

Artículo de investigación

Servicios ecosistémicos e indicadores para los bosques templados de México

Ecosystem services and indicators for temperate forests in Mexico

José Carlos Monárrez-González¹, Carlos Mallén Rivera^{2*}

Fecha de recepción/Reception date: 6 de abril de 2026.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 17 de junio de 2026.

¹Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: mallen.carlos@inifap.gob.mx

*Corresponding author; e-mail: mallen.carlos@inifap.gob.mx

Resumen

Los servicios ecosistémicos (SE) son las contribuciones directas e indirectas de la naturaleza para el bienestar de la sociedad. Su medición requiere indicadores para el manejo forestal sustentable. El objetivo fue desarrollar un conjunto de indicadores y métricas para evaluar SE en los bosques templados de México. Se realizó una revisión sistemática (1990-2025), con base en el estándar *Prisma (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)*; se analizó un *corpus* final de 1274 publicaciones (669 publicaciones globales y 605 nacionales). El análisis bibliométrico, mediante las plataformas *Rayyan* y *VOSviewer*, mostraron que las investigaciones sobre SE de soporte, regulación y provisión dominan a nivel nacional (48.6 %, 37.3 % y 12.4 %, respectivamente); biodiversidad, almacenamiento y captura de carbono, flujos hídricos, perturbaciones, madera y biomasa; mientras que los SE culturales están subrepresentados (1.7 %). Mediante una evaluación multicriterio y un panel *Delphi* de 20 expertos (consenso global de 95 %), se construyó la bolsa operativa alineada a CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services*) V5.2, que incluye cuatro categorías, 19 tipos de SE y 43 indicadores (25 de provisión, 10 de regulación, 5 culturales y 3 de soporte). Los resultados evidencian la necesidad de emplear métricas biofísicas validadas *in situ*, capaces de reflejar la multifuncionalidad del ecosistema. El conjunto de SE, indicadores y métricas propuesto funcionará como un instrumento operativo para orientar la toma de decisiones y facilitar la inclusión de SE en los marcos globales de contabilidad ambiental.

Palabras clave: Análisis bibliométrico, captura de carbono, contabilidad ambiental, ecosistema templado, indicadores, *VOSviewer*.

Abstract

Ecosystem services (ES) are the direct and indirect contributions of nature to the well-being of society. Their measurement requires indicators for sustainable forest management. The objective was to develop a set of indicators and metrics to assess ES in the temperate forests of Mexico. A systematic review (1990-2025) was conducted, following the Prisma standard (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), analyzing a final *corpus* of 1274 publications (669 global and 605 national). Bibliometric analysis, using the Rayyan and VOSviewer platforms, showed that research on supporting, regulating, and provisioning ES dominates at the national level (48.6 %, 37.3 %, and 12.4 %, respectively): biodiversity, carbon storage and sequestration, water flows, disturbances, timber, and biomass; while cultural ES are underrepresented (1.7 %). Through multi-criteria evaluation and a Delphi panel of 20 experts (95 % global consensus), an operational framework aligned with CICES (Common International Classification of Ecosystem Services) V5.2 was developed, comprising four categories, 19 types of ES, and 43 indicators (25 provision, 10 regulatory, 5 cultural, and 3 supporting). The results highlight the need to employ biophysical metrics validated *in situ*, capable of reflecting the multifunctionality of the ecosystem. The proposed set of ES, indicators, and metrics will serve as an operational tool to guide decision-making and facilitate the inclusion of ES in global environmental accounting frameworks.

Keywords: Bibliometric analysis, carbon sequestration, environmental accounting, temperate ecosystem, indicators, VOSviewer.

Introducción

La degradación de los ecosistemas a nivel global se ha acelerado por la interacción entre las actividades humanas y los efectos del cambio climático (Dee et al., 2025). Con el propósito de abordar las funciones y los beneficios ambientales que carecen de un mercado formal, la economía ecológica formalizó el marco de servicios ecosistémicos (SE) (Costanza, 2008; Gómez-Baggethun et al., 2010). Este marco surgió como estrategia para visibilizar, economizar y abordar externalidades positivas, en las cuales los SE son definidos operativamente como aquellos bienes y servicios que las personas obtienen de los ecosistemas (Costanza, 2008; Mandal et al., 2026).

Internacionalmente, se reconocen tres marcos conceptuales para la clasificación de SE: la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment [MEA], 2005), que establece la base conceptual y los agrupa en cuatro categorías

(provisión, regulación, culturales y soporte), e identifica 17 tipos de SE; la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB [The Economics of Ecosystem and Biodiversity], 2010), tipifica 22 SE y reorganiza su clasificación conceptual (inclusión del servicio hábitat) para evitar la doble contabilidad en la valoración económica; y la Clasificación Internacional Común de los Servicios Ecosistémicos (CICES [Common International Classification of Ecosystem Services]) V5.2 (Haines-Young, 2023), la cual no usa un número fijo de SE, este marco es una clasificación jerárquica para la contabilidad ambiental y la comparabilidad internacional, además organiza los SE finales en provisión, regulación y culturales, excluye a los de soporte.

De manera global, los ecosistemas en las zonas templadas proveen SE críticos de regulación climática, provisión (agua, madera, forraje) y beneficios culturales (patrimonio cultural, paisaje estético, sitios sagrados). Pese a su importancia, enfrentan una severa degradación impulsada por cinco amenazas globales: cambio climático, alteración del hábitat, sobreexplotación, contaminación y especies invasoras (Pereira *et al.*, 2022; Mandal *et al.*, 2026).

En el caso particular de México, los bosques templados juegan un papel central en la provisión territorial de estos beneficios. Basados en el marco conceptual de TEEB (2010), Galicia y Zarco-Arista (2014) identificaron 16 SE: 1) provisión 2) alimentos, 3) agua, 4) madera, 5) recursos químicos, 6) recursos genéticos, 7) bioenergía y recursos forestales no maderables, 8) regulación climática, 9) SE de flujos de agua, 10) purificación de contaminantes del aire, 11) prevención de erosión del suelo y deslizamientos de tierra, 12) captura de carbono, 13) servicios culturales comunitarios, 14) recreativos, 15) educativos y de apoyo al hábitat o soporte, 16) producción primaria y formación de suelo. Para asegurar los SE, se debe transitar de un enfoque reduccionista, centrado en un solo SE, hacia la multifuncionalidad (Mathieu *et al.*, 2025).

Pese a su evidente importancia y a la vasta identificación de los SE, en el país persiste una brecha operativa entre la investigación y la implementación de políticas públicas orientadas a su conservación, compatibilidad de provisión (Izquierdo-Tort *et al.*, 2025) e incentivos económicos para los propietarios de esos servicios. Esta desconexión dificulta vincular la condición ecológica con la provisión de SE (Seguin *et*

al., 2026). Además, la dependencia histórica de observaciones mediante sensores remotos tiende a ocultar la variabilidad intrínseca del ecosistema (Kokkoris et al., 2024).

Por esto, los manejadores enfrentan incertidumbres, falta de datos estandarizados y desajustes temporales (Hinsch et al., 2024). Por tal motivo, resulta vital recabar bases de datos locales y establecer monitoreos estandarizados que reduzcan la subjetividad y los sesgos en las evaluaciones y mediciones de SE (Moreno-Meynard, 2026). Para solventar la falta de estandarización en el monitoreo forestal relacionado con los SE, se han generado marcos para su evaluación. Destaca entre ellos, la matriz analítica multidimensional propuesta por Nahuelhual et al. (2016), metodología probada en Latinoamérica para evaluar indicadores ambientales mediante dimensiones técnicas, políticas y sociales. Este enfoque permite identificar de forma sistemática los vacíos de viabilidad operativa y social de los indicadores de SE.

Los indicadores de SE son herramientas para cuantificarlos, evaluarlos y monitorearlos. En México, se necesita información científica sobre el papel de los ecosistemas templados en el suministro de SE, pero se carece de los indicadores para su evaluación y medición de forma local y estandarizada. Frente a las limitaciones expuestas, el objetivo de este estudio fue desarrollar un conjunto de indicadores y métricas para evaluar servicios ecosistémicos en los bosques templados de México.

Materiales y Métodos

La metodología se estructuró en dos fases: 1) revisión sistemática y análisis bibliométrico y 2) análisis multicriterio y validación participativa mediante un Panel Delphi para conformar la bolsa de indicadores y métricas de evaluación.

Estrategia de búsqueda y fuentes de información

La investigación se basó en una revisión sistemática estructurada para la búsqueda, análisis cuantitativo y síntesis cualitativa (Gough et al., 2013). Para garantizar una cobertura exhaustiva de la literatura entre 1990 y 2025, se consultaron cuatro bases de datos: *Scopus* para identificar literatura de alto impacto; *Dimensions* y *OpenAlex* para ampliar la cobertura interdisciplinaria; y *ScienceDirect* (*Elsevier*) para la recuperación de textos completos. La búsqueda empleo ecuaciones booleanas en dos niveles de análisis. Nivel global, se usaron tres bloques conceptuales: 1) ecosistema objetivo (bosques templados, especies de *Pinus* y *Quercus*), 2) servicio ecosistémico (provisión, regulación, soporte y cultural), y 3) terminología de medición (indicadores, métricas, evaluación, índices). Nivel Nacional, se incorporaron dos bloques: 4) tipo de servicio evaluado (ejemplo: provisión: alimento, madera), y 5) contexto geográfico (México).

Filtro de elegibilidad y análisis bibliométrico

El proceso se realizó en apego a la declaración *PRISMA 2020* (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021). Para la gestión de metadatos se utilizó la plataforma web *Rayyan* (Ouzzani et al., 2016), mediante la cual se eliminaron duplicados, evaluación a doble ciego de títulos y resúmenes, además del análisis a texto completo. Los criterios de inclusión se centraron en estudios con indicadores cuantificables. Previo a la síntesis cualitativa, los metadatos de los registros elegidos se procesaron en el *software VOSviewer* (van Eck y Waltman, 2010) para realizar un análisis bibliométrico enfocado en redes de co-ocurrencia temática y de la dinámica de la producción científica y estructura intelectual del campo del conocimiento.

Contextualización geográfica y priorización multicriterio de SE

El trabajo de Galicia y Zarco-Arista (2014) proporcionó la contextualización geográfica para alinear los marcos globales a la escala nacional; para ello se seleccionaron los SE con mayor impacto social y económico. Se efectuó una homologación conceptual entre los SE locales y las clases propuestas por la CICES V5.2 para asegurar comparabilidad internacional.

La priorización de los SE se hizo con una matriz de evaluación multicriterio con ponderación equitativa. Bajo este esquema, cada SE fue evaluado frente a siete criterios específicos mediante una escala binaria de presencia (1) o ausencia (0): 1) valor ecológico, 2) nivel de vínculo con el bienestar humano, 3) medible por elementos socioeconómicos, 4) importancia para la comunidad local, 5) disponibilidad de datos, 6) sensibilidad a perturbaciones, y 7) categoría de servicio. Al otorgar una ponderación igual a cada criterio (14.3 % del valor total), se neutralizaron los sesgos de sobrevaloración. Posteriormente, se extrajeron los enfoques metodológicos y las métricas de los SE para estructurar un conjunto preliminar, en el cual prevalecieron los indicadores biofísicos.

Selección multidimensional de indicadores y validación por expertos

Para la selección definitiva de los indicadores se adaptó la matriz analítica multidimensional propuesta por Nahuelhual et al. (2016), la cual evalúa la calidad a partir de 16 subcriterios en cuatro dimensiones (Credibilidad, Prominencia, Legitimidad y Viabilidad). Para el procedimiento se sustituyeron las valoraciones binarias y ponderaciones porcentuales asimétricas del modelo original por una escala

Likert de tres niveles (desempeño: 1 = bajo, 2 = moderado y 3 = óptimo) aplicada homogéneamente a los subcriterios (límite cuantitativo máximo de 48 puntos por indicador). La asignación de puntajes en la matriz se sometió a una validación participativa mediante el método Delphi (primer taller del 28 de noviembre de 2025 y por correo electrónico de diciembre-febrero de 2025), con panel para consensuar (umbral de 85 %) la pertinencia de las métricas.

El panel se conformó por 20 especialistas seleccionados por su experiencia demostrable en manejo y evaluación de bosques templados de México (representatividad: 40 % del sector académico, 20% sector gubernamental y 40 % usuarios directos, dueños y prestadores de servicios técnicos forestales). Se determinó este tamaño de muestra debido a que la literatura metodológica sugiere que paneles entre 15 y 20 seleccionados son óptimos para alcanzar la saturación teórica de respuestas y un consenso (Okoli y Pawlowski, 2004; Hsu y Sandford, 2007).

El proceso consistió en dos rondas, en la primera cada experto evaluó de forma independiente la pertinencia conceptual. El consenso se ponderó mediante el Índice de Acuerdo (*IAC*) (von der Gracht, 2012):

$$IAC = \left(\frac{E_a}{n} \right) \times 100$$

Donde:

E_a = Número de expertos con una calificación aprobatoria

n = Número total de evaluadores ($n=20$)

En la segunda ronda, los resultados y discrepancias fueron tabulados y devueltos al panel, a partir del que se logró un consenso global de 95 % sobre la viabilidad de las métricas. La lista de indicadores se estructuró adoptando el formato de marco analítico.

Análisis de la información

La revisión sistemática de la literatura bajo el estándar *Prisma* se analizó mediante la depuración de metadatos y cribado a doble ciego en la plataforma *web Rayyan* (Ouzzani et al., 2016). Las síntesis cuantitativas se analizaron con el modelado de redes de co-ocurrencia temática, para ello se utilizó el *software VOSviewer* (van Eck & Waltman, 2010). En el caso de la información de las rondas iterativas del panel *Delphi* se usó el *IAC* para determinar cuantitativamente la saturación y consenso. Finalmente, el análisis multicriterio de las métricas se efectuó con tabulaciones en el *software Microsoft Excel*, calculando las sumatorias de frecuencias en escala de *Likert* para los subcriterios evaluados.

Resultados

Análisis global

La revisión sistemática de indicadores de los SE para los bosques templados, arrojó hasta 2025 un total de 1 203 documentos: 525 (43.6 %) de *Scopus*, 477 (39.7 %) de *Dimensions* y 201 (16.7 %) de *OpenAlex*. La consolidación de estos metadatos constituyó el *corpus* documental base. Se eliminaron 534 registros duplicados, por lo que quedaron 669 registros únicos.

La producción científica reflejó un notable incremento a partir del año 2000. Para ilustrar esta tendencia de aceleración se ajustó un modelo de tipo potencial ($y=0.3126x^{1.6277}$,

donde: y = Número de publicaciones, x = Año; $R^2 = 0.948$), el cual evidenció el creciente interés por la adopción de marcos de evaluación de los SE (Figura 1). La red conceptual temática se conformó de 169 palabras clave. Las primeras investigaciones priorizaron conceptos básicos ("biodiversidad", "biomasa"); en contraste, la literatura reciente (de 2020 a 2025) cuantificó de forma espacial a los bosques templados; destacaron la "teledetección" y tecnología *LiDAR* como herramientas clave (Figura 2). De esta primera revisión, se desprendió que los países con más publicaciones fueron Estados Unidos de América (18.5 %), Reino Unido (14.05 %), Alemania (12.04 %), Australia (8.6 %), Suiza (7.9 %), Suecia (7.3 %), China (7.02 %), España (7 %), Canadá (6.1 %), entre otros. Se excluyeron 548 documentos que no cumplieron con los criterios de elegibilidad preestablecidos; por lo tanto, el análisis se hizo con 121 registros.

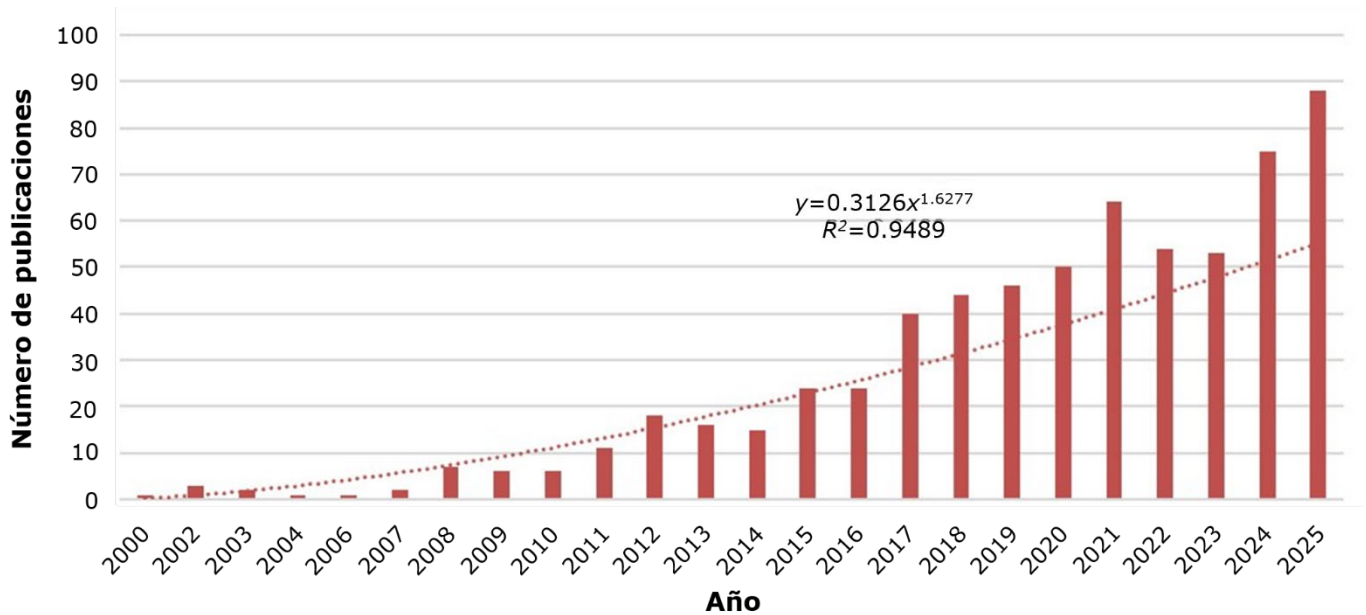


Figura 1. Publicaciones del tema indicadores de servicios ecosistémicos a nivel global.

biodiversidad no arbórea, microbioma, necromasa, integración socioecológica y perspectiva cultural. Esta asimetría no se debe a la falta de indicadores, sino a factores metodológicos y económicos. Se priorizan los SE de provisión y regulación (ejemplo: madera, carbono y biodiversidad vegetal), ya que sus funciones son modelables mediante ecuaciones alométricas estandarizadas, inventarios forestales y uso de sensores remotos, lo que reduce costos y facilita la estimación a unidades monetarias. En cambio, los SE culturales requieren valoraciones cualitativas subjetivas en campo, que exigen más tiempo y financiamiento. Se observó que la investigación ha transitado de evaluaciones aisladas (un solo SE) hacia un análisis multifuncional que prioriza cuantificar las sinergias y compensaciones (*trade-offs*) entre los SE.

Análisis nacional

Con información de 1990 hasta 2025, se obtuvieron 605 estudios, distribuidos por SE: regulación (228 artículos), provisión (187), soporte (183), cultural (7). La exportación de la base inicial ($n=605$) a la plataforma *Rayyan* (Ouzzani et al., 2016) permitió la eliminación de 138 duplicados, de lo que resultó un total de 467 registros con un crecimiento potencial ($y=0.2576x^{1.3923}$; donde y = Número de publicaciones, x = Año; $R^2=0.917$) que evidenció el crecimiento e interés acelerado por evaluar indicadores de los SE (Figura 3).

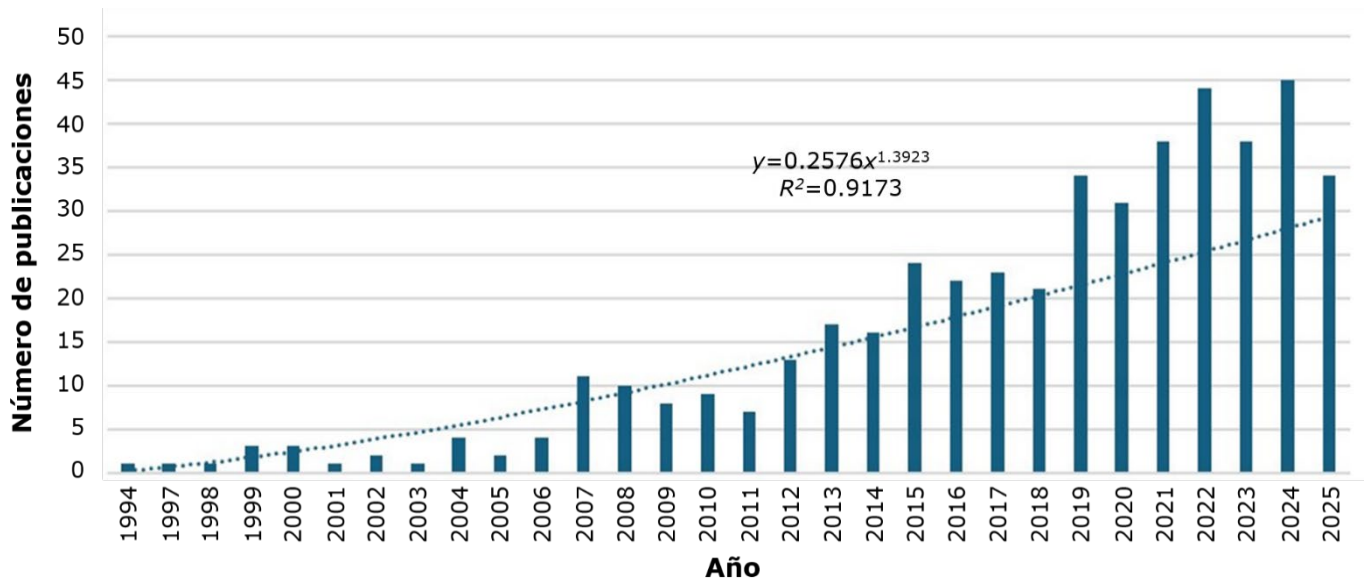


Figura 3. Publicaciones del tema indicadores de servicios ecosistémicos a nivel nacional.

La distribución final fue mayor en los SE de soporte (48.6 %), seguida por: regulación (37.3 %), provisión (12.4 %) y SE culturales (1.7 %). Se observó una tendencia similar a la del nivel global. En México, los temas de SE más estudiados son: biodiversidad (35.1 %), clima y aire (13.89 %), carbono, producción primaria, perturbaciones y madera (6.6 %); además de, temas de SE menores (1 %), como recreación, bioenergía, recursos químicos y recursos forestales no maderables. La red temática mostró predominancia de los indicadores de soporte y regulación, lo que contrasta con los pocos estudios sobre SE culturales (Figura 4).

La revisión permitió extraer un inventario preliminar de 74 indicadores, de los cuales 68 % correspondieron a métricas estrictamente biofísicas (ejemplo: $m^3 ha^{-1}$ para biomasa maderable o $t C ha^{-1}$ para secuestro de carbono).

El análisis multidimensional mostró a los SE de provisión con la mayor puntuación, máxima viabilidad y legitimidad, dada su vinculación socioeconómica y disponibilidad de datos. Los SE de regulación destacaron en relevancia por su sensibilidad ecológica, pero tuvieron menor viabilidad debido a la alta complejidad técnica. Los SE culturales registraron una viabilidad baja por la toma de datos directos *in situ*. Los SE de soporte presentaron máxima relevancia como base estructural, menor legitimidad por baja percepción en lo socioeconómico y menor viabilidad por su complejidad técnica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Dimensionalidad y subcriterio de evaluación por servicio ecosistémico.

Dimensión	Subcriterio de evaluación	SE Provisión (Madera, Forraje, Alimento)	SE Regulación (Carbono, Regulación-Agua)	SE Culturales (ICF, Recreación)	SE Soporte (Diversidad, Biomasa, Suelo)
Credibilidad	1. Certidumbre	3	3	2	3
	2. Realismo espacio-temporal	3	3	2	3
	3. Coherencia	3	3	2	1
	4. Congruencia conceptual	3	3	3	1
	Subtotal Credibilidad:	12	12	7	7
Prominencia-Relevancia	5. Valor ecológico del SE	2	3	2	3
	6. Exposición al cambio climático	2	3	1	3
	7. Sensibilidad al cambio climático	2	3	1	3
	8. Exposición al uso de suelo	3	3	3	3
	9. Sensibilidad al uso de suelo	3	3	3	3
	Subtotal Prominencia:	12	15	10	15
Legitimidad-Aceptabilidad	10. Vínculo con bienestar humano	3	3	3	1
	11. Importancia para comunidades	3	2	3	1

	12. Potencial de mediación económica	3	2	3	1
	13. Comprensibilidad	3	1	3	1
	Subtotal Legitimidad:	12	8	12	4
Viabilidad	14. Disponibilidad de datos	3	2	1	2
	15. Facilidad de evaluación	3	2	2	1
	16. Generalidad	3	2	2	2
	Subtotal Viabilidad:	9	6	5	5
Puntuación	Total (Máximo 48 puntos)	45	41	34	31

ICF = Índice de Calidad Física

Se efectuó un mapeo de equivalencias entre los SE locales y las clases de la clasificación CICES V5.2 (Haines-Young, 2023) y MEA (2005) para asegurar la comparabilidad internacional (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de los servicios ecosistémicos forestales adaptado a la tipología CICES V5.2 (Haines-Young, 2023) y el modelo de cascada (Haines-Young & Potschin, 2016).

Tipo de servicio	1 y 2. Estructura y función ecológica (Condición)	3. SE Final (Flujo CICES)	4. Beneficio socioeconómico
Soporte (Cuentas de condición)			
1. Producción primaria	Crecimiento leñoso y fotosíntesis activa en el rodal	Sustento basal. No SE final en CICES	Mantenimiento de la red trófica y ciclos de vida
2. Formación del suelo	Propiedades edáficas, química del suelo y mesofauna	Sustento basal. No SE final en CICES	Fertilidad base para actividades productivas
3. Biodiversidad	Dinámica poblacional y riqueza de taxones	Sustento basal. No SE final en CICES	Resiliencia genética del ecosistema
Servicio de provisión			
4. Alimento	Red trófica, fertilidad del suelo y disponibilidad de hábitat	Suministro de biomasa para consumo	Seguridad alimentaria local y valor comercial
5. Agua dulce	Red de drenaje y capacidad de infiltración del suelo	Suministro de agua dulce para uso consuntivo	Abastecimiento humano y capacidad de embalse
6. Madera	Crecimiento secundario de <i>Pinus</i> y <i>Quercus</i>	Suministro de fibras de madera	Materiales de construcción y manufactura
7. Bioenergía	Acumulación de necromasa y material lignocelulósico	Suministro de biomasa para fines energéticos	Seguridad energética y calefacción local
8. No maderables, químicos y genéticos	Metabolismo secundario vegetal y diversidad de sotobosque	Suministro de resinas, forraje, extractos y germoplasma	Insumos químicos, farmacológicos y ganaderos

Servicios de regulación

9. Regulación climática	Área foliar, arquitectura del dosel e índices de vegetación	Regulación del microclima y secuestro de GEI	Atenuación de extremos térmicos y mitigación climática
10. Regulación de flujos hídricos	Topografía, escorrentía y retención del dosel	Regulación de la dinámica de flujos líquidos	Prevención de inundaciones y regulación de sequías
11. Calidad del agua	Conductividad hidráulica y capacidad de filtrado edáfico	Retención de contaminantes disueltos	Provisión de agua limpia libre de toxinas
12. Control de erosión-sedimentos	Estabilidad edáfica por sistemas radiculares y cobertura (%)	Control de tasas de erosión	Protección contra deslaves y asolvamiento de presas
13. Regulación de plagas y enfermedades	Control biológico natural y diversidad de depredadores	Mitigación de brotes epidémicos	Sanidad forestal
14. Regulación de incendios	Combustible y estructura espacial de la biomasa	Prevención y amortiguamiento de fuego	Reducción de riesgo de incendios catastróficos
15. Regulación de desastres naturales	Resiliencia sistémica del ecosistema ante fenómenos extremos	Mitigación de impactos por huracanes/tormentas	Protección de infraestructura y vidas humanas

Servicios culturales

16. Valor espiritual y religioso	Presencia de elementos geográficos singulares y flora	Soporte de características para la espiritualidad e identidad	Sentido de pertenencia y herencia cultural
17. Recreativo-ecoturismo	Integridad ecológica y calidad visual del paisaje	Soporte físico para el ocio y la recreación	Salud mental, esparcimiento y derrama económica
18. Educativo	Estado de conservación de hábitats prístinos y biodiversidad	Soporte de espacios para la investigación y enseñanza	Desarrollo científico y educación ambiental

Aunque la tendencia internacional, liderada por marcos de clasificación como CICES V5.2 (Haines-Young, 2023) y el marco de Contabilidad de Ecosistemas (SEEA EA) de las Naciones Unidas proponen la exclusión de los servicios de soporte para evitar la doble contabilidad, en el presente estudio y para México se conservó el principio de soporte. Esta decisión responde la urgencia de monitorear la base biofísica estructural y la resiliencia del bosque templado frente a perturbaciones por efecto del cambio climático. En el contexto nacional, los SE de soporte aseguran los procesos ecológicos que sostienen la productividad del bosque. Además, omitirlos, en México implicaría ignorar 48.6 % de la evidencia científica.

Consolidación de la bolsa de indicadores

La estructura definitiva de los SE e indicadores se sometió a una validación participativa mediante el método *Delphi*, en un taller con la participación de 20 expertos (academia: 40 %, gobierno: 20 % y sector forestal [prestadores de servicios y productores]: 40 %). En la primera etapa (taller), 100 % de los expertos validó los principios de provisión y regulación como ejes críticos para el manejo forestal en México. En una segunda ronda de evaluación (vía correo electrónico), se alcanzó un consenso superior a 80 % en 28 indicadores. Sin embargo, para los SE culturales se requirió un ajuste: se recomendó fusionar el SE de valores espirituales con identidad comunitaria, para facilitar su medición. Los dueños y poseedores del recurso forestal y los prestadores de servicios técnicos mostraron una marcada preferencia por indicadores de fácil medición en campo, mientras que los académicos priorizaron métricas de mayor robustez científica (ejemplo: índices de diversidad Alfa y Beta). Finalmente, se logró un nivel global de acuerdo de 95 % sobre la pertinencia de los 19 SE priorizados.

La evaluación técnica de los 43 indicadores mediante la matriz multinivel arrojó puntajes sobresalientes en la dimensión de Credibilidad ($\bar{x} = \frac{11}{12}$) para los indicadores de carbono y biomasa. No obstante, se identificó una viabilidad crítica inicial en los indicadores de Recursos genéticos y Suministro de agua dulce, debido a la dispersión de datos oficiales y las implicaciones en la toma de información de campo.

Como resultado, se sustituyeron tres indicadores teóricos (monitoreo continuo de flujos de agua subterránea, medición directa de flujos de gases y valoración contingente/disposición a pagar) por *proxies* de sensores remotos y datos de inventarios (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, modelos de remoción de contaminantes basados en Índice de área foliar satelital y métricas de derrama económica directa, respectivamente). El proceso culminó con la aprobación unánime de la "Bolsa de Servicios Ecosistémicos e Indicadores", lo que garantizó una

herramienta técnica lista para su implementación en programas de monitoreo forestal, a escala institucional. Esta propuesta puede complementar el Inventario Nacional Forestal y de Suelos de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), y a escala predial integrarse en los programas de manejo forestal, con base en los datos dasométricos que los silvicultores registran en campo y, finalmente, en los esquemas de pago por servicios ambientales y certificación del buen manejo forestal en los puntos de monitoreo. En el Cuadro 3 se presentaa la bolsa resultante que incluye tipo de SE, indicadores y unidad de medida o métrica.

Cuadro 3. Servicio ecosistémico, tipo de servicio, indicador y métrica para monitorear y evaluar los servicios ecosistémicos en los bosques templados de México.

Tipo/Sección /Clase	Indicador seleccionado/Beneficio	Unidad de medida o métrica de valoración
Soporte: asegurar los procesos ecológicos fundamentales que sostienen la vida y la productividad del bosque. O bien, reclasificar como Cuentas de Condición del Ecosistema, para no contradecir a CICES ya que determinan la "capacidad" del ecosistema para entregar servicios.		
1. Producción primaria	Biomasa forestal	t ha ⁻¹ , t ha ⁻¹ año ⁻¹ . Biomasa acumulada (almacén) y generación de biomasa (productividad primaria neta)
2. Formación del suelo	Servicio cíclico de nutrientes, materia orgánica y características de la mesofauna edáfica	kg ha ⁻¹ año ⁻¹ , t ha ⁻¹ , %, individuos m ⁻² . Servicio cíclico de nutrientes (flujo de N, P, K a través de la caída de hojarasca o mineralización), materia orgánica del suelo, mesofauna edáfica
3. Biodiversidad	Índices de diversidad vegetal	m ² , %. Valores de los índices de diversidad. Índices espectrales. Diversidad Alfa (Riqueza de especies, <i>Shannon-Wiener H'</i> , <i>Simpson D</i> , <i>Margalef DMg</i>), Índices de Diversidad Beta (Similitud: Índice de <i>Jaccard</i> , <i>Sørensen</i>), Índice de Valor de Importancia. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. Índice de vegetación mejorado. Índices estructurales del dosel
Servicio de Provisión: garantizar el suministro sostenible de bienes tangibles provenientes del bosque.		
4. Alimento	Producción de cultivos (múltiples subcategorías) Producción de carne (múltiples subcategorías) Producción en acuaponía Captura de pescado	kg ha ⁻¹ año ⁻¹ , t ha ⁻¹ año ⁻¹ , kg pescador ⁻¹ h ⁻¹ . Rendimiento biológico por unidad de superficie. Índice de Cosecha. Capacidad de carga animal del ecosistema, medida en Unidades Animal (UA) por hectárea (UA ha ⁻¹), Valor de la producción en acuaponía (MXN ha ⁻¹), Tasa de recirculación y reposición hídrica. Producción y eficiencia del sistema acuapónico integrado. Captura por unidad de esfuerzo en cuerpos de agua dentro de áreas forestales (ej. presas, ríos de montaña)
	Número de especies silvestres utilizadas como alimento	Número de especies comestibles, número de especies ha ⁻¹ , kg ha ⁻¹ . t ha ⁻¹ . Riqueza de especies silvestres comestibles. Rendimiento de hongos y frutos comestibles. Tasa de extracción anual de productos vegetales silvestres comestibles

	Rendimiento de caza	Número de especies, individuos especie ⁻¹ año ⁻¹ . Fauna cinegética. Tasas de aprovechamiento sustentable por especie
	Valor de la producción de productos agrícolas	MXN ha ⁻¹ . Valor económico de la producción agrícola estimado mediante precios de mercado local.
	Valor de la producción de productos pecuarios	MXN ha ⁻¹ año ⁻¹ , MXN UA ⁻¹ año ⁻¹ . Valor económico.
5. Agua dulce	Suministro de agua/población beneficiada por recurso hídrico, parámetros de calidad hídrica	m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹ , L hab ⁻¹ d ⁻¹ , Índice de Calidad del Agua (ICA), pH, Turbidez (NTU), Conductividad (dS m ⁻¹), Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹), Sólidos suspendidos totales (mg L ⁻¹), nutrientes, temperatura (°C). Volumen de oferta hídrica superficial derivado de cuencas. Cantidad de agua disponible por habitante al día suministrada por el ecosistema. Índice de Calidad del Agua: valores fisicoquímicos (pH, conductividad, turbidez, etc.)
	Capacidad de almacenamiento de agua	m ³ d ⁻¹ , mm año ⁻¹ , m ³ . Capacidad total de retención de agua en infraestructuras dentro del bosque. Duración del almacenamiento del agua. Tasa de infiltración que alimenta los depósitos subterráneos
6. Madera	Producción de madera en rollo	m ³ ha ⁻¹ , m ³ , m ² . Volumen maderable comercial (m ³ ha ⁻¹), diámetro normal (DN, cm), altura total (AT, m) y calidad de fuste (rectitud/sanidad). Incremento corriente anual, incremento medio anual. Dasometría general (área basal, densidad, etc.)
	Producción de fibras y leñas	
	Biomasa para combustible	
	Valor de productos forestales (categorías)	MXN ha ⁻¹ , %. Distribución de productos (Primario, secundario, celulósico y desperdicios)
7. Forraje	Balance de biomasa forrajera	t ha ⁻¹ , Kilogramos de forraje por kilogramo de peso vivo ($kg\ kg\ \frac{-1}{pv}$). Producción de forraje. Cantidad de forraje forestal convertido en producto pecuario
8. Recursos químicos	Número de especies con potencial químico	Número de especies. Riqueza de especies con potencial farmacológico (terpenos, fenoles, alcaloides) o interés industrial
	Producción de resina	kg cara ⁻¹ año ⁻¹ , caras ha ⁻¹ . Rendimiento de resina por individuo. Número de caras de resinación activas por ha
	Valor de producción de resina	MXN ha ⁻¹ año ⁻¹ . Ingreso bruto anual derivado de la comercialización de resina en bruto. Costo de oportunidad del aprovechamiento no maderable frente a la corta final maderable
9. Recursos genéticos	Número de especies que se han convertido en productos comerciales	Número de especies. Riqueza de especies nativas. Especies forestales integradas en cadenas de valor industriales (celulosa, resina, aceites esenciales, procedencias para producción de semilla, valor etnobotánico). Aparición de especies bajo categorías de protección (NOM-059)
	Producción de semillas	kg t ⁻¹ . Rendimiento de semilla limpia por unidad de peso de cono. Viabilidad de semillas
	Valor de los recursos genéticos	MXN ha ⁻¹ año ⁻¹ . Precio de mercado del germoplasma forestal
10. Bioenergía	Producción de leña	m ³ ha ⁻¹ . Volumen de residuos de cosecha, poder calorífico. Cuantificación de biomasa lignocelulósica residual y determinación del potencial termoquímico
	Valor de la producción de leña	MXN ha ⁻¹ año ⁻¹ . Ingresos por venta de leña, posteroío

11. Recursos forestales no maderables (RFNM)	Producción forestal de no maderables	m^3 , L, $kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$, $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$. Productos específicos (hongos silvestres, tierra de monte, follaje ornamental) en peso fresco y seco
	Valor de la producción de no maderables	MXN $ha^{-1}\ año^{-1}$. Ingresos por la comercialización de RFNM

Servicio de Regulación: mantener la capacidad de los bosques para regular procesos ecológicos y ambientales.

12. Regulación climática y depuración de contaminantes atmosféricos	Capacidad de atenuación del bosque (temperatura, humedad, viento, radiación). Análisis dendrocronológico	Capacidad de amortiguamiento microclimático: Atenuación térmica ($\Delta\ ^\circ C$) e higrométrica ($\Delta\ \%$), reducción de velocidad del viento ($m\ s^{-1}$) e intercepción de radiación solar ($W\ m^{-2}$). Crecimiento Radial Bruto ($mm\ año^{-1}$) e Índice de Ancho de Anillo (<i>RWI</i>) para cronologías
	Flujo de gases atmosféricos. Modelos de remoción de contaminantes atmosféricos	Flujo de gases atmosféricos (Intercambio Neto del Ecosistema): Evaluado a microescala en torres de flujo ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-2}$) o escalado al paisaje forestal ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$). Modelos de remoción de contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2): tasa a la que el dosel forestal "limpia" estos contaminantes mediante intercepción masiva ($kg\ ha^{-1}\ año^{-1}$ o $g\ m^{-2}\ año^{-1}$)
13. Regulación de la erosión	Transferencia y carga de sedimentos	$t\ ha^{-1}\ año^{-1}$, $mg\ L^{-1}$, % cobertura. Tasa de pérdida de suelo, modelada mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo con factor de cobertura vegetal. Carga total de sedimentos suspendidos en corrientes hídricas
14. Captación-acumulación de carbono	Capacidad de secuestro y captura carbono	$t\ C\ ha^{-1}$, $t\ C\ ha^{-1}\ año^{-1}$. Contenido de carbono orgánico total, biomasa aérea, carbono orgánico del suelo y carbono en necromasa (hojarasca y detritos)
15. Regulación de flujos y calidad del agua	Monitoreo de flujos de agua. Balance Hídrico	$mm\ año^{-1}$, distribución %, $m^3\ ha^{-1}\ año^{-1}$, $L\ año^{-1}$. Distribución de precipitación (escorrentía, escurrimiento fustal, intercepción, y precipitación neta). Balance hídrico (Volumen a nivel de cuenca)
	Rendimiento de agua (agua cosechada o infiltración)	$mm\ ha^{-1}\ año^{-1}$, $cm\ ha^{-1}\ año^{-1}$, $m^3\ ha^{-1}\ año^{-1}$, $mm\ año^{-1}$, $cm\ año^{-1}$, $m^3\ año^{-1}$, $mm\ año^{-1}$. Volumen de agua dulce que la cuenca forestal entregar o recarga al sistema. Capacidad de infiltración
16. Regulación de plagas y enfermedades, incendios, desastres naturales	Superficie y periodicidad de plagas y enfermedades	$ha\ año^{-1}$, % $año^{-1}$, eventos $año^{-1}$, años. Superficie dañada (plagas, enfermedades, incendios y desastres), en un periodo determinado. Área absoluta y relativa. Frecuencia de las perturbaciones
	Superficie y periodicidad afectada por incendios	
	Superficie afectada por desastres naturales	
	Pérdidas económicas por perturbaciones naturales	MXN $evento^{-1}$, MXN $ha^{-1}\ año^{-1}$. Pérdidas económicas estimadas

Servicio Cultural: Reconocer y conservar los valores intangibles y sociales asociados al bosque.

17. Valor espiritual-identidad comunitaria	Áreas con valor espiritual y religioso	ha, número de sitios o número de especies. Índice de consenso de informantes (<i>ICF</i>), Índice de Valor de Uso (<i>IVU</i>). Presencia de sitios sagrados, riqueza de especies con valor simbólico-ritual
18. Recreativo	Número de visitantes	Visitantes $año^{-1}$. Afluencia turística en un periodo
	Superficie de recreación y ecoturismo	ha, escala <i>Likert</i> . Superficie destinada a ecoturismo y calidad estética percibida (índices de percepción)

	Valor recreativo	MXN año ⁻¹ , MXN ha ⁻¹ año ⁻¹ . Derrama económica total o distribuida en el área
19. Educativo	Áreas de uso educativo	ha, proyectos año ⁻¹ , sitios km ⁻² , % de conservación. Superficie de uso educativo, número de proyectos de investigación, densidad de áreas de uso educativo y estado de conservación de hábitats de importancia cultural

El análisis cualitativo de los indicadores y las métricas descartadas reveló tres patrones de decisión derivados de la visión de los actores locales: la restricción del costo-efectividad, la tecnología requerida, la preferencia a métricas con capacidad monetaria y la simplicidad de registro en campo. Por ejemplo, métricas altamente precisas, pero costosas como el monitoreo continuo de flujos de agua subterránea o la medición de gases traza mediante torres de covarianza fueron descartadas por los prestadores de servicios técnicos forestales y dueños de bosque debido a su nula viabilidad financiera y tecnológica a nivel predial.

Discusión

La investigación realizada a nivel nacional concuerda con la literatura global más reciente, al demostrar que los SE de provisión (45 puntos en análisis multidimensional) obtuvieron el mayor puntaje, en contraste con la baja puntuación de los SE culturales (34) y de soporte (31). Esta coincidencia respalda lo planteado por Chen (2025), quien señala que los bienes tangibles como madera y agua dulce, continúan dominando las evaluaciones por su viabilidad en la cuantificación directa y monetización. Asimismo, la escasez de indicadores para los SE de regulación y culturales se debe a su complejidad metodológica y valoración subjetiva, advertida por Ioan et al. (2025) y Seguin et al. (2026). Los resultados de esta investigación confirman lo expuesto por Chen (2025), quien formula que el vacío de indicadores y métricas es consecuencia de la dificultad técnica para cuantificar beneficios intangibles, experienciales y

dependientes del contexto sociocultural local; patrón que explica la poca representación de los SE culturales en el entorno nacional (1.7 %).

Como advierten revisiones recientes de literatura (Kokkoris et al., 2024; Seguin et al., 2026), una gran parte de las evaluaciones globales actuales dependen de métodos indirectos basados en cartografía de uso de suelo y vegetación (*LULC, Land use and land cover*), asumiendo erróneamente que la simple presencia de un bosque garantiza la provisión de SE (Seguin et al., 2026). La dependencia de estos sustitutos basados en coberturas de la tierra, sin integrar la condición ecológica real, enmascara la variabilidad funcional de los ecosistemas y genera posibles sesgos al sobreestimar la provisión de SE aparentemente intactos o sin manejo (Seguin et al., 2026). Los resultados de la investigación reflejan esa limitación, lo que explica el por qué los indicadores nacionales evaluados que dependían de datos indirectos obtuvieron puntuaciones de viabilidad significativamente menores (Cuadro 1). Por lo tanto, y en consonancia con los indicadores propuestos, diversos investigadores postulan que el contexto actual debe transitar hacia mediciones biofísicas *in situ* y enfoques funcionales basados en campo, los cuales son capaces de evidenciar la integridad estructural del ecosistema forestal (Leveau et al., 2025; Seguin et al., 2026).

La transición detectada en la literatura hacia el análisis de la multifuncionalidad posee una relevante significancia para los bosques templados de México. Históricamente, los programas de manejo forestal han tenido un enfoque reduccionista centrado en la maximización del servicio de provisión de madera, por su valor económico. La relevancia de documentar este cambio, radica en que el conjunto de indicadores permitirá a los tomadores de decisiones visualizar la multifuncionalidad del ecosistema, al evaluar sinergias y compensaciones (ejemplo: cómo la extracción maderable afecta la captura de carbono o la recarga hídrica). Los silvicultores e instituciones podrán diseñar estrategias silviculturales adaptativas que optimice múltiples SE, y garantizar la resiliencia del ecosistema frente al cambio climático.

La concentración de estudios nacionales en servicios de soporte revela que la investigación en México sigue confinada a la ecología descriptiva, sin evaluar los servicios de flujo final y el pago por SE. Este vacío obliga a diseñar políticas ambientales basadas

en supuestos globales. Documentar esta asimetría justifica implementar el conjunto de indicadores propuesto para medir los SE históricamente invisibilizados.

La aplicación de indicadores resulta esencial para el análisis de compensaciones y sinergias en el manejo adaptativo de los bosques templados (Liu *et al.*, 2026). Si bien, la extracción maderable suele ser el SE priorizado por la gestión comercial, maximizar este beneficio genera compromisos que reducen otros SE como la conservación de la biodiversidad y la mitigación de efectos al cambio climático (Ioan *et al.*, 2025). Esto explica por qué los indicadores de provisión obtuvieron las valoraciones más altas, ya que su madurez metodológica es el resultado de décadas de inventarios y dasometría forestal enfocada en la cuantificación de bienes y servicios tangibles. Evaluar simultáneamente múltiples SE mediante indicadores, facilita la implementación de tecnologías que permitan a los manejadores del bosque diseñar estrategias silviculturales multifuncionales y sustentables (Baskent & Yilmaz, 2026).

En el contexto de México, la operatividad del catálogo de indicadores y métricas propuesto posee profundas implicaciones para la gobernanza ambiental, al establecer criterios técnicos homogéneos que reducen la subjetividad en la asignación de recursos. Adoptar un enfoque híbrido que integre la modelación multiespectral, validada con datos *in situ* o indicadores biofísicos aporta transparencia y eficacia a los esquemas de compensación económica (Yang *et al.*, 2026). Esta certidumbre técnica resulta imperativa para integrar a los bosques templados del país dentro de los recientes marcos globales del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica-Contabilidad de Ecosistemas (SEEA EA) (Seguin *et al.*, 2026); ello permitirá internalizar el verdadero valor del capital natural en la planeación macroeconómica nacional.

Las ponderaciones cualitativas del panel *Delphi* y la calibración operativa de las métricas, se fundamentaron primordialmente en la estructura y dinámica de los bosques templados del centro y norte de México, su aplicabilidad directa en lugares con condiciones socio-ecológicas distintas requerirá un proceso de validación o de ajustes locales.

Conclusiones

El estudio generó un conjunto de servicios ecosistémicos, indicadores y métricas para los bosques templados de México. Este marco, estructurado a partir de la identificación sistemática y validado mediante el consenso del panel *Delphi*, demuestra la viabilidad de homologar variables biofísicas y socioeconómicas en un solo instrumento operativo. La integración de las categorías de provisión, regulación, cultural y soporte (esta puede reclasificarse como cuentas de condición del ecosistema), provee una herramienta directa para reducir la dependencia a estimaciones indirectas.

Los hallazgos muestran que las evaluaciones y el monitoreo forestal priorizan los indicadores de SE con facilidad de medición y valor económico en su estimación. Las evaluaciones en México han concentrado la cuantificación de SE de soporte, provisión y regulación. En contraste a la medición de los SE culturales, cuya evaluación es metodológicamente más compleja y subjetiva.

La implementación operativa del catálogo propuesto para medir los SE, se fundamenta en su capacidad para servir como insumo o línea base técnica para sustentar los métodos de valoración económica y los sistemas de contabilidad del capital natural, como el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica-Contabilidad de Ecosistemas (SEEA EA), a fin de vincular los mecanismos financieros de compensación por conservación y suministro de los SE.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el financiamiento del proyecto estratégico forestal: "Manejo integrado de recursos forestales para la sustentabilidad de los servicios ecosistémicos ante el cambio climático", del cual derivó la investigación que sustenta el presente artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses. José Carlos Monárrez-González declaro no haber participado en el proceso editorial del artículo.

Contribución por autor

José Carlos Monárrez-González: curación de datos, aplicación de la metodología, análisis de la información y redacción del manuscrito original; Carlos Mallén Rivera: conceptualización de la investigación, obtención de la información, supervisión de los resultados, revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

Baskent, E. Z., & Yilmaz, Ü. S. (2026). Quantifying and integrating ecosystem services in forest management planning. *Ecosystem Services*, 77, Article 101809. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101809>

- Chen, H. (2025). How to assess realized ecosystem services: Indicators, challenges in determining actual use, and suggestions. *Ecosystem Services*, 76, Article 101796. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101796>
- Costanza, R. (2008). Ecosystem services : Multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 141(2), 350-352. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.12.020>
- Dee, L. E., Miller, S. J., Helmstedt, K. J., Boersma, K. S., Polasky, S., & Reich, P. B. (2025). Quantifying disturbance effects on ecosystem services in a changing climate. *Nature Ecology & Evolution*, 9(3), 436-447. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02626-y>
- Galicia, L., & 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 & Management*, 10(4), 275-288. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.973907>
- Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., & Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69(6), 1209-1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
- Gough, D., Oliver, S., & Thomas, J. (2013). *Learning from research: systematic reviews for informing policy decisions. A quick guide*. Alliance for Useful Evidence. <https://www.betterevaluation.org/sites/default/files/2022-12/systematic%20review%20for%20informing%20policy%20decisions.pdf>
- Haines-Young, R. (2023). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2 Guidance on the Application of the Revised Structure*. Fabis consulting. https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2023/08/CICES_V5.2_Guidance_24072023.pdf
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2016). The Cascade Model. In M. Potschin & K. Jax (Eds.), *OpenNESS Ecosystem Services Reference Book* [EC FP7 Grant Agreement no. 308428]. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. <https://www.ipbes.net/policy-support/tools-instruments/ecosystem-services-reference-book>

- Hinsch, M., Zulian, G., Stekker, S., Rega, C., Nabuurs, G.-J., Verweij, P., & Burkhard, B. (2024). Assessing pollinator habitat suitability considering ecosystem condition in the Hannover Region, Germany. *Landscape Ecology*, *39*, Article 47. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01851-x>
- Hsu, C.-C., & Sandford, B. A. (2007). The Delphi technique: making sense of consensus. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, *12*(10), Article 10. <https://doi.org/10.7275/pdz9-th90>
- Ioan, S., Roseo, F., & Brambilla, M. (2025). Mountain ecosystem services under a changing climate: A global perspective. *Ecosystem Services*, *73*, Article 101732. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101732>
- Izquierdo-Tort, S., Alatorre, A., Shapiro-Garza, E., Corbera, E., Deschamps-Lomelí, J., Ávila-Foucat, V. S., Carabias, J., Dupras, J., Kolinjivadi, V., Nuñez, J. M., Perevochtchikova, M., Sims, K., & Van Hecken, G. (2025). Payments for ecosystem services in Mexico: Two decades of progress and challenges between research and practice. *Ecosystem Services*, *73*, Article 101720. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101720>
- Kokkoris, I. P., Smets, B., Hein, L., Mallinis, G., Buchhorn, M., Balbi, S., Černecký, J., Paganini, M., & Dimopoulos, P. (2024). The role of Earth observation in ecosystem accounting: A review of advances, challenges and future directions. *Ecosystem Services*, *70*, Article 101659. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101659>
- Kumar, P. (2010). The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations. In J. Gowdy, R. B. Howarth & C. Tisdell (Eds.), *Discounting, ethics, and options for maintaining biodiversity and ecosystem integrity* (Working Papers in Economics Number 1008, pp. 2-42). Rensselaer Polytechnic Institute. https://www.researchgate.net/publication/241766886_The_Economics_of_Ecosystems_and_Biodiversity_Ecological_and_Economic_Foundations
- Leveau, L., Biot, N., Lobet, G., & Bertin, P. (2025). A collection of field-based indicators for assessing ecosystem services in crop fields. *One Ecosystem*, *10*, Article e151491. <https://doi.org/10.3897/oneeco.10.e151491>
- Liu, L., Wang, W. J., Bao, S. G., Ba, S., Wang, L., Cong, Y., Wu, H., & He, H. S. (2026). Land use and landscape pattern changes dominated ecosystem service trade-

- offs and synergies in a temperate mountain region. *Forest Ecosystems*, 15, Article 100427. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2026.100427>
- Mandal, A., Das, A., & Das, M. (2026). Climate change and ecosystem services: bridging science, policy, and community insights in Himalayan mountain ecosystem. *Environmental Development*, 58, Article 101428. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101428>
- Mathieu, A., Martin-Guay, M.-O., & Rivest, D. (2025). Enhancement of agroecosystem multifunctionality by agroforestry: A global quantitative summary. *Global Change Biology*, 31(5), Article e70234. <https://doi.org/10.1111/gcb.70234>
- Millennium Ecosystem Assessment (Ed.). (2005). *Ecosystems and human well-being. Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Moreno-Meynard, P. (2026). Monitoring ecosystem functions in mountain catchments of Chilean Patagonia: A cluster-based dataset. *Data in Brief*, 65, Article 112481. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2026.112481>
- Nahuelhual, L., Laterra, P., & Barrena, J. (2016). *Indicadores de servicios ecosistémicos. Una revisión y análisis de su calidad*. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26830.46403>
- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42(1), 15-29. <https://doi.org/10.1016/J.IM.2003.11.002>
- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., & Elmagarmid, A. (2016). Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, 5, Article 210. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., & Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 134, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003>
- Pereira, P., Inacio, M., Bogunovic, I., Francos, M., Barceló, D., & Zhao, W. (2022). Ecosystem services in mountain environments: benefits and threats. *Pirineos. Revista*

de Ecología de Montaña, 177, Article e068.

<https://doi.org/10.3989/pirineos.2022.177001>

Seguin, J., Nicholson-Thomas, I., Rendón, P., Cortinovis, C., Arany, I., Czúcz, B., Duchková, H., Geneletti, D., Grondard, N., Guisado-Goñi, V., Inácio, M., Kato-Huerta, J., Kokkoris, I. P., Le Clec'h, S., Lupa, P., Mansoldo, M. D. C., Pereira, P., Ribeiro, D., Šmid-Hribar, M., ... Lange, S. (2026). Towards Integrated Ecosystem Assessments: A literature review on linking ecosystem condition indicators to ecosystem services. *One Ecosystem*, 11, Article e184299. <https://doi.org/10.3897/oneeco.11.e184299>

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

von der Gracht, H. A. (2012). Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(8), 1525-1536. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>

Yang, B.-C., Lee, C.-H., Wu, Y.-J., Phan, T. T. T., & Nguyen, V. V. (2026). Valuing forest ecosystem services for environmental damage compensation: An adaptive management approach. *Environmental Development*, 58, Article 101435. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2026.101435>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.