

Servicios ecosistémicos del sur del Estado de México

Ecosystem services of the Southern State of Mexico

Luis Alfonso Flores Arteaga¹, Clarita Rodríguez Soto ^{1*} y Dolores Magaña Lona¹

¹ Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro Coatepec s/n Ciudad Universitaria, Toluca de Lerdo, México, C.P. 50110. lg.alfonsoarteaga@gmail.com, crodriguezs@uaemex.mx, dmaganal@uaemex.mx, <https://orcid.org/0009-0005-4500-3453>, <https://orcid.org/0000-0002-5684-1197>, <https://orcid.org/0000-0001-8767-3651>

*Autor(a) de Correspondencia

Recibido: 10/12/2024. Aceptado: 20/01/2026. Publicado: 05/02/2026.

Cómo citar este artículo: Flores Arteaga, L.A., Rodríguez Soto, C. y Magaña Lona, D. (2026). Servicios ecosistémicos del sur del Estado de México. *Geografía Aplicada*, 2(1), 200-230.

Resumen

A los bienes y beneficios que los ecosistemas proporcionan a las sociedades se les denomina servicios ecosistémicos (SE); constituyen un soporte fundamental del bienestar humano y del desarrollo socioeconómico a escala planetaria. No obstante, la relevancia que representa la conservación de su capacidad productiva no ha recibido el cuidado ni la atención necesaria, y su consideración como prioridad continúa siendo limitada en la agenda política nacional. En este contexto, los 15 municipios de la Región VI Ixtapan de la Sal, al sur del Estado de México, presentan un alto potencial para ofertar SE debido a su localización en la zona de transición entre las regiones neártica y neotropical. Esta condición de ecotono se expresa en una mayor riqueza, abundancia y diversidad de ecosistemas. El objetivo del presente estudio fue identificar y localizar algunos servicios ecosistémicos (SE) de la Región VI Ixtapan de la Sal al sur del Estado de México. Los SE considerados fueron:

aprovisionamiento (áreas de cultivo y floricultura), almacenamiento de CO₂, retención del suelo y turismo. Se estima que el área de estudio cuenta con una capacidad total de almacenamiento de 20,184,763 toneladas de CO₂; dentro de ella, el bosque de oyamel, con 63.33 ton/ha, presenta la cobertura forestal de mayor almacenamiento. La floricultura, con 21,404 ha, destaca entre los servicios de aprovisionamiento, mientras que la superficie destinada a la agricultura alcanza 56,523.59 ha. Aunque estas actividades generan ingresos económicos relevantes, su manejo intensivo y el uso de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas) se asocia con impactos socioambientales negativos. Finalmente, el turismo constituye una actividad estratégica con margen de fortalecimiento y hoy ya se promueve en Tonalico, Ixtapan de la Sal y Malinalco.

Palabras clave: mapeo de servicios ecosistémicos, diagnóstico integral, almacenamiento de CO₂, turismo.

Abstract

Ecosystem services (ES) are the goods and benefits that ecosystems provide to society, and they are the foundation of well-being and socioeconomic development on the planet. Despite their importance, they have not received the care and attention they require, nor have they been included as a priority on the current political agenda. The 15 municipalities of Region VI Ixtapan de la Sal, in the southern part of the State of Mexico, have a greater potential to offer ES due to their location between the Nearctic and Neotropical regions, representing an ecotone reflected in greater richness, abundance, and diversity of ecosystems. This study aimed to identify and locate some of the ecosystem services of Region VI Ixtapan de la Sal. The ES addressed were: provisioning (agricultural and floriculture areas), CO₂ storage, soil retention, and tourism. The study area is estimated to have the capacity to store a total of 20,184,763 tons of carbon, with the Oyamel fir forest, at 63.33 tons/ha, having the greatest capacity to provide this service. Floriculture is another provisioning service with a significant impact on the region, covering an area of 21,404 ha,

while the area dedicated to agriculture is 56,523.59 ha. Although these activities generate significant economic income, they are practiced intensively and with agrochemicals, which represent a high negative socio-environmental impact. Finally, tourism is a relevant activity in the region, with significant potential for development, and is currently being promoted in municipalities such as Tonatico, Ixtapan de la Sal, and Malinalco.

Keywords: ecosystem services mapping, comprehensive diagnosis, carbon sequestration, tourism.

1. Introducción

Los ecosistemas sostienen la reproducción de la vida y, al mismo tiempo, hacen posible una amplia gama de procesos sociales y económicos. Entre los beneficios que aportan destacan la purificación del agua, la regulación hidrológica (incluida la mitigación de inundaciones), la provisión de alimentos y materias primas, la regulación climática, la retención del suelo y el almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂), entre otros. Estos bienes y beneficios se conceptualizan como servicios ecosistémicos (SE) y constituyen un soporte fundamental del bienestar humano y del desarrollo socioeconómico.

El concepto de SE se consolidó como un marco de referencia para articular ciencia y políticas públicas con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EMM) (Maes et al., 2012; García, et al., 2016). En las últimas tres décadas, el interés por comprender a los SE y, sobre todo, por diseñar políticas públicas en favor del ambiente y mecanismos de gestión que aseguren su continuidad (Bravo-Cadena y Pavón, 2024) ha crecido de manera significativa, en parte por el reconocimiento de los acelerados procesos de transformación territorial: urbanización, intensificación agropecuaria, extracción de tierras raras y cambios de usos de suelo que comprometen funciones ecosistémicas clave.

La integración de los SE en la agenda pública enfrenta barreras que van más allá de lo técnico o económico. Por un lado, existe una desconexión entre disciplinas que omite la pluralidad de valores necesarios para un bienestar colectivo (Cerdeira & Tironi, 2017). Por otro

lado, desde la geografía crítica, la degradación de los ecosistemas no se debe meramente a una "presión" abstracta, sino el resultado de configuraciones de poder que politizan el territorio para sostener rentas mediante la "acumulación por desposesión" (Gómez-Baggethun & Ruiz-Pérez, 2011; Pascual et al., 2017). De tal manera que se considera que a largo plazo el colapso ecosistémico y la pérdida de biodiversidad son el tercer riesgo más grave (Foro Económico Mundial, 2024).

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) integró globalmente las ciencias naturales y sociales para diagnosticar el estado de los ecosistemas y sus servicios (SE), buscando fundamentar decisiones que promuevan la sustentabilidad y el bienestar humano. En este sentido, los inventarios biofísicos son el cimiento crítico para este fin: documentar la realidad material del territorio, paso indispensable para integrar posteriormente la pluralidad de valores socioculturales y dimensiones no monetarias. En este contexto a nivel mundial el estudio de los servicios ecosistémicos se ha desarrollado con base en la bibliografía consultada, en tres vertientes principales: valoración económica, diagnósticos y degradación, e identificación de los Servicios Ecosistémicos (SE) (INECC, 2020).

La Región VI Ixtapan de la Sal, que suma a 15 municipios al sur del Estado de México (Gobierno del Estado de México, 2011), posee un potencial excepcional para la provisión de SE debido a su ubicación en un ecotono entre las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical. Esta condición de transición le otorga una notable diversidad ecosistémica; sin embargo, el territorio enfrenta una severa degradación debido al cambio de uso de suelo cobertura vegetal primaria por áreas de uso agrícola. La región destaca como la principal productora de flores a nivel nacional y de maíz a nivel estatal (SEDAGRO, 2015; SIAP, 2024). No obstante, la hegemonía de estas actividades ha configurado tensiones estructurales que merman la capacidad funcional del ecosistema. Factores de presión como la pérdida de hábitat, la erosión hídrica y la disminución de la infiltración se ven agravados por la compactación y contaminación del suelo, derivadas del uso intensivo de fertilizantes y

agroquímicos en la floricultura. Estas dinámicas representan una forma de externalización de costos socioambientales, donde la renta económica de la productividad agrícola desplaza riesgos críticos hacia la biodiversidad y los recursos hídricos de la región.

El objetivo del estudio fue identificar y ubicar los servicios ecosistémicos existentes en la región VI Ixtapan de la Sal, Edo. México, a partir de análisis y modelación espacial, que sirva como herramienta para la toma de decisiones estratégicas enfocadas, entre otras cosas, a garantizar la continuidad de los SE.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

La Región VI (Ixtapan de la Sal), Estado de México (Figura 1) se localiza en el sector sur de la entidad y forma parte de la regionalización socioeconómica que agrupa a los municipios mexiquenses en 16 regiones. En esta regionalización, la Región VI se integra por 15 municipios: Almoloya de Alquisiras, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Joquicingo, Malinalco, Ocuilan, San Simón de Guerrero, Sultepec, Temascaltepec, Tenancingo, Texcaltitlán, Tonatico, Villa Guerrero, Zacualpan y Zumpahuacán (Gobierno del Estado de México, 2011). En términos espaciales, el área de estudio se ubica entre las coordenadas extremas 19°14'5.83" N, 99°52'28.55" O y 18°33'9.98" N, 99°57'43.02" O. Para el análisis de los servicios ecosistémicos (SE), se optó por una redelimitación hidrográfica del polígono de estudio a partir de microcuencas, en congruencia con el carácter sistémico de los SE y la interdependencia de los flujos ecológicos e hidrológicos.

Con base en el marco de microcuencas propuesto por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO, 2006), se consideró un universo de 62 microcuencas (propuesta original) y, para la delimitación operativa del estudio, se trabajó con 57 microcuencas agrupadas en 12 subcuencas, lo que permitió conservar una morfología territorial muy cercana a la delimitación político-administrativa (Figura 2), pero incorporando áreas funcionalmente

conectadas a la dinámica regional (incluyendo porciones colindantes del Estado de Guerrero y del Estado de Morelos). Para 2015, la población total estimada a partir de la Encuesta Intercensal asciende a 459,827 habitantes, con una densidad aproximada de 106 hab/km² (INEGI, 2016).

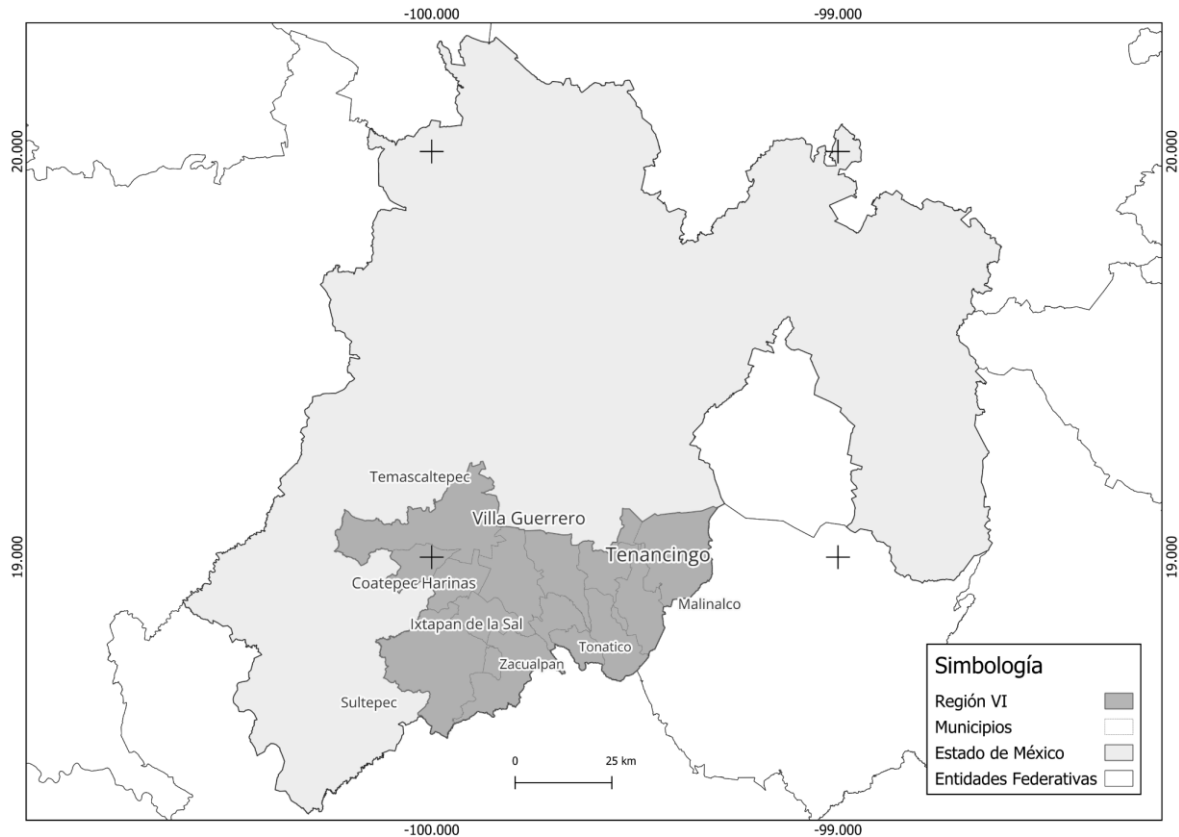


Figura 1. Área de Estudio, región VI, Ixtapan de la Sal, Estado de México.

Fuente: elaboración propia con base en Gobierno del Estado de México (2011).

Desde el punto de vista fisiográfico, la porción septentrional del ámbito regional se asocia al Eje Neovolcánico, particularmente a la subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, mientras que hacia el sureste y el flanco occidental se reconoce la transición a la Sierra Madre del Sur, con presencia de las subprovincias Depresión del Balsas y Sierras y Valles Guerrerenses.

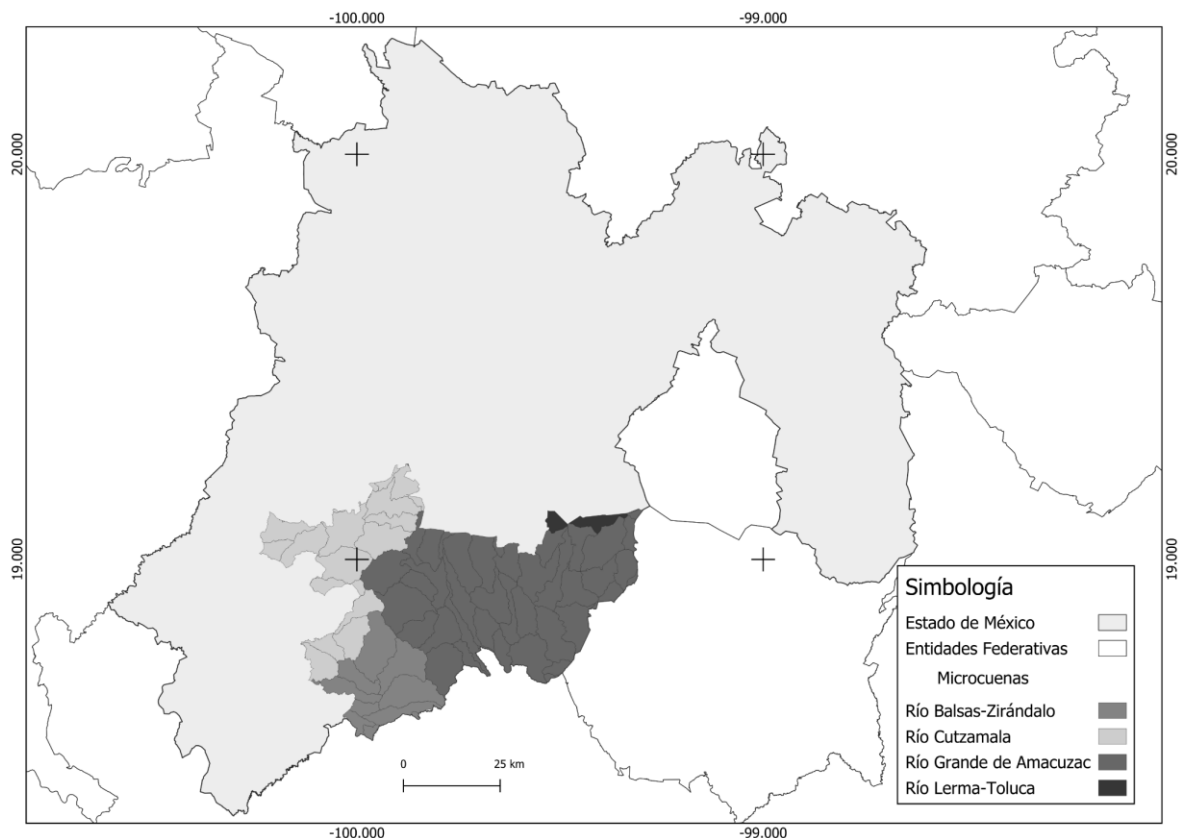


Figura 2. Área de Estudio basado en Microcuencas.

Fuente: elaboración propia con base en FIRCO (2006) e INEGI (2017).

2.2. Materiales y métodos

A continuación, se describe el procedimiento que se siguió para identificar y ubicar los SE de la región VI. Se consideraron los SE: Almacenamiento de CO₂, de aprovisionamiento (agricultura y floricultura), retención del suelo y turísticos.

Para caracterizar los ecosistemas presentes en el área de estudio, se empleó la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación en su Serie V (INEGI, 2014). Las categorías de cobertura fueron homologadas con base en el esquema de clasificación propuesto por Burkhard y Maes (2017), con el fin de asegurar consistencia analítica entre clases de vegetación/uso del suelo y sus funciones ecológicas asociadas.

Servicios ecosistémicos de aprovisionamiento (zonas de cultivos y floricultura): La delimitación de zonas de cultivo y floricultura se realizó mediante la integración de fuentes: i) imágenes satelitales Sentinel-2A (abril de 2016), ii) la cartografía de USV Serie V (INEGI, 2014) y iii) la Frontera Agrícola del SIAP, versión II (2019).

Las imágenes Sentinel-2A se procesaron en QGIS mediante el complemento Semi-Automatic Classification Plugin, aplicando tratamiento digital y clasificación supervisada con base en firmas espectrales, a fin de identificar coberturas agrícolas y su distribución espacial en la región.

Servicio ecosistémico Almacenamiento de CO₂: La estimación del carbono almacenado en bosques y selvas se llevó a cabo con base en los resultados reportados por Mondragón (2017), quien, con base en la metodología de Rojas et al. (2005), desarrolló un muestreo sistemático estratificado por conglomerados, apoyado en una malla de puntos con separación regular de 2.5 km. Para la estimación de las toneladas almacenadas, se consideraron ecuaciones derivadas del Segundo Estudio Dasométrico del Estado de México (SEDEMEX, 1990), que agrupan especies forestales dominantes de acuerdo con su hábito de crecimiento y morfología. En el caso de selvas bajas, el volumen se calculó con modelos del propio SEDEMEX (1985–1990). La biomasa se estimó conforme a la ecuación propuesta por Rojas et al. (2005); para la densidad de la madera se utilizaron valores promedio reportados en el inventario forestal, y para el componente espacial se vinculó la información a las clases de bosque y selva (INEGI Serie V) mediante asignaciones en PostGIS con base en la siguiente fórmula.

Ecuación 1. Biomasa

$$B = V * d$$

Donde:

B = Biomasa

V= Volumen (Existencias reales en m³ V.T.A.)

d = Densidad de la madera

Para estimar la densidad de la madera se consideraron los datos de densidad promedio de las especies reportadas en el Inventario Forestal. Para el volumen se consideraron los resultados de la estimación de carbono almacenado en bosques y selvas del Estado de México reportados por Mondragón (2017) (Tabla 1).

Tabla 1. Volumen generado en cada tipo de bosque del Estado de México.

<i>Tipo de Bosque</i>	Ton/Ha
Oyamel	63.36
Pino	31.48
Pino-Encino	31.39
Encino	28.39
Bosque mesófilo de montaña	26.64
Encino -Pino	21.71
Selva baja Caducifolia	3.24

Fuente: elaboración propia con base en Mondragón (2017).

Servicio ecosistémico retención de suelo: Se representó a través del mapa de erosión hídrica potencial, este se puede definir como “*el resultado de la combinación de factores como la precipitación, el escurrimiento, la textura del suelo y la topografía (pendiente). Para determinar la pérdida de suelo en toneladas por hectárea al año se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo*” (USLE, por sus siglas en inglés; Wischmeier y Smith 1965, 1978; Montes- León 2011) (Ecuación 2).

Ecuación 2: Erosión hídrica potencial

$$A_{\text{potencial}} = R \times K \times LS$$

Donde:

Donde:

A = tasa de erosión anual (ton/ha.año).

R = factor de erosividad de la lluvia (MJ.mm/ha.h).

K = factor de erodabilidad del suelo (ton.h/MJ.mm).

LS = factor topográfico longitud-pendiente.

Factor R (erosividad de lluvia). Representa la energía potencial de la lluvia y el escurrimiento asociado, es el componente climático que expresa el potencial erosivo de la lluvia (Montes-León, 2011). Para su estimación se utilizó el algoritmo de GRASS GIS Rainfall erosivity index, aplicado al ráster de precipitación total anual elaborado por Gómez-Albores (2017). Este enfoque ofrece mayor detalle espacial y eficiencia operativa frente a regionalizaciones nacionales más generales, como la metodología simplificada propuesta por Ortiz-Solorio y Pérez-García (2009).

Factor K (erodabilidad del suelo). El factor K expresa la susceptibilidad intrínseca del suelo a la erosión bajo condiciones de lluvia y escurrimiento. Se estimó mediante el algoritmo GRASS GIS USLE soil erodibility, incorporando información proveniente de la cartografía edafológica del INEGI, de modo que el parámetro refleja variaciones espaciales en textura y propiedades relevantes para la erosión.

Factor LS (longitud y pendiente). Integra la longitud (L) desde el origen del escurrimiento hasta el punto donde disminuye la pendiente (por sedimentación) o donde el flujo se concentra en un canal definido, y el gradiente de pendiente (S) (Montes-León, 2011). Para su cálculo se utilizaron Modelos Digitales de Elevación SRTM v3.0 (NASA, 2013), a partir de los cuales se derivaron pendientes y métricas topográficas. Posteriormente, mediante la calculadora ráster de qgis se implementaron las expresiones sql necesarias para la conversión de unidades y la obtención secuencial de L, S y finalmente LS.

Finalmente, el resultado de la erosión potencial hídrica se reclasificó en rangos de severidad con base en la propuesta de la FAO (1980), desde categorías normales (<0.5 ton/ha·año) hasta muy severas (50–200 ton/ha·año).

Servicio ecosistémico turismo: Para la identificación de los sitios turísticos más representativos, se realizó una revisión bibliográfica y consulta web, considerando modalidades de turismo general, ecoturismo, turismo religioso y turismo alternativo. La

selección se restringió a sitios en los que la experiencia y la oferta turística dependieran de manera directa de algún servicio ecosistémico de provisión (por ejemplo, paisajes asociados a coberturas naturales, recursos hídricos o elementos bioculturales ligados al entorno), con el fin de mantener coherencia entre atractivo turístico y soporte ecológico.

3. Resultados

3.1. Distribución de los ecosistemas

La Región VI presenta una alta diversidad ecosistémica, asociada a su localización en un ecotono (Figura 3). Los bosques de coníferas destacan por su mayor capacidad para proveer servicios ecosistémicos, en particular, almacenamiento de CO₂, dispersión de contaminantes, retención de suelo, hábitat, suministro de agua, servicios culturales, genéticos y de materias primas.

No obstante, los ecosistemas dentro del área de estudio enfrentan presiones significativas derivadas de las actividades económicas, en especial debido a la floricultura que se destaca como factor de presión dominante. Por su carácter intensivo, se asocia con pérdida, contaminación y compactación del suelo, además de pérdida de hábitat, cambios de uso de suelo agrícolas a florícolas y remoción de vegetación en laderas con pendientes pronunciadas, entre otros efectos. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Dentro del conjunto de coberturas, el bosque de niebla o bosque mesófilo de montaña adquiere relevancia por su capacidad de soportar SE como hábitat y regulación climática, así como de la preservación de riqueza genética; es importante mencionar que es uno de los ecosistemas más amenazados del país (aproximadamente el 0.9% del territorio nacional) y que, en la región, representa 11,615.4 ha.

Un hallazgo adicional es el aumento de la superficie de la selva baja caducifolia (sureste del área de estudio), este fenómeno se identificó al comparar su extensión en dos series de uso

de suelo (INEGI, versiones III y IV). Esta ganancia se puede deber a un cambio de actividades económicas primarias hacia terciarias.

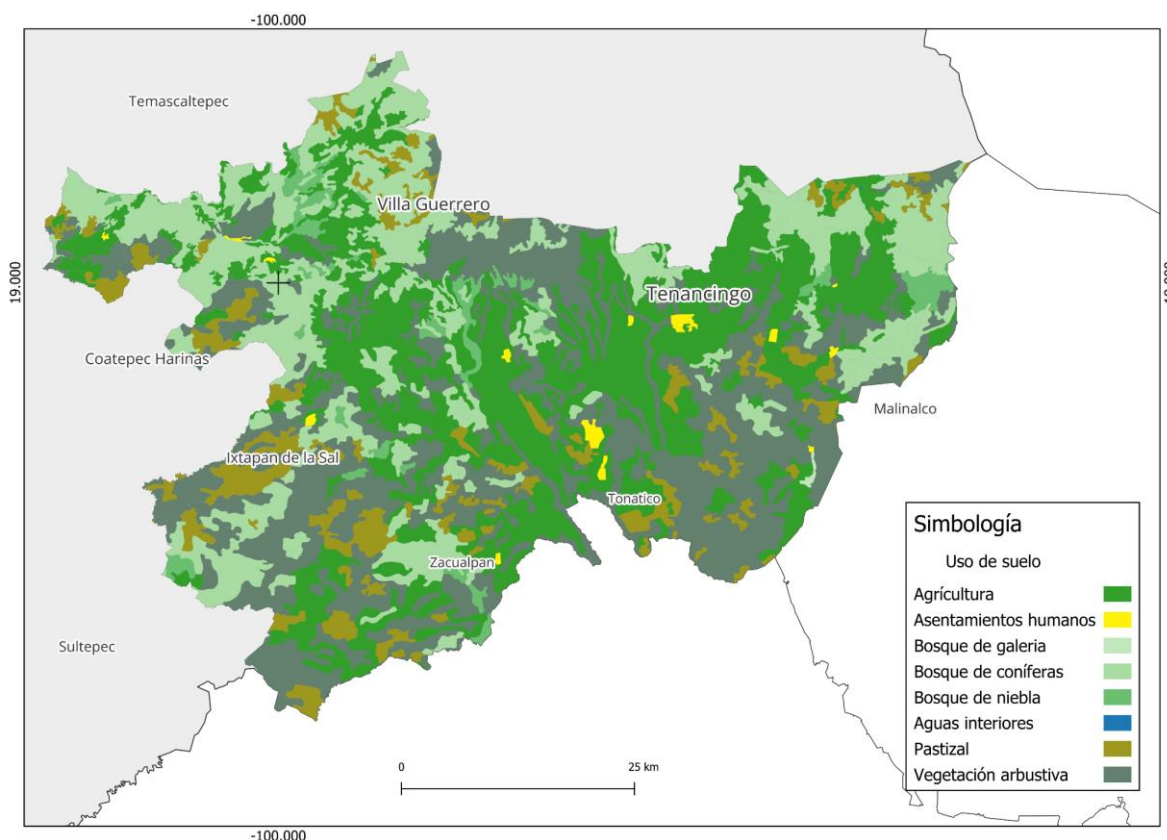


Figura 3. Mapa de Ecosistemas en el área de estudio, región VI, Ixtapan de la Sal, Estado de México.

Fuente: elaboración propia, con base en la Serie V del INEGI.

Finalmente, las zonas selváticas son reconocidas como fuente de materias primas para usos domésticos y plantas medicinales. En términos funcionales, se les atribuyen servicios vinculados con ciclo de nutrientes, regulación hídrica, prevención de erosión y formación de suelos, así como el soporte a polinizadores claves para conservación genética y producción de alimentos.

3.2. Servicio ecosistémico aprovisionamiento (alimentación y materias primas)

En la Región VI se registran 72,581 terrenos destinados a la agricultura, con una superficie conjunta de 138,508.39 ha (INEGI, 2016) (Tabla 2). A escala regional se observa una consolidación como cultivo principal el maíz de grano, con más de 28,472 ha, por encima de la avena forrajera (5,526 ha) y del aguacate (3,162 ha).

Tabla 2. Producción agrícola de los cultivos principales por municipio, Región VI (Ha cosechadas).

	Maíz de grano	Avena forrajera	Aguacate	Pastos	Durazno	Chicharo	Fríjol	Cebolla	Fresa
<i>Almoloya de Alquisiras</i>	2,756	320	492	*	*	*	*	*	*
<i>Sultepec</i>	4,331	*	*	4,510	190	*	*	*	*
<i>Coatepec de Harinas</i>	3,176	2,762	1,796	*	*	*	*	*	*
<i>Temascaltepec</i>	4,935	930	*	2,090	*	*	*	*	*
<i>Ixtapan de la Sal</i>	1,075	*	*	*	*	*	260	340	*
<i>Joquicingo</i>	1,982	*	110	*	*	215			*
<i>Tenancingo</i>	2,114	*		*	*		232	360	*
<i>Malinalco</i>	3,205	*	219	*	*	347	*	*	*
<i>Villa Guerrero</i>	1,490	*	224	*	*	*	*	*	152
<i>Ocuilan</i>	3,410	1,280	*	*	*	1,810	*	*	*

Fuente: elaboración propia con base en SEDAGRO (2015).

En este sentido, la floricultura muestra una tendencia de expansión relevante. A causa de programas de expansión ocurridos a partir de 1994, asociado a la política de reconversión de cultivos del Programa Nacional de Modernización del Campo (Rivera Herrera, 2015), y a un proyecto integral de SEDAGRO (2001–2002) para fortalecer comercialización y producción florícola (Orozco, 2007), este proceso de expansión ha derivado en efectos particularmente negativos para la salud en municipios como Villa Guerrero y Tenancingo.

Actualmente, la producción florícola nacional se concentra de forma destacada en la cuenca florícola del alto Amacuzac, donde Villa Guerrero, Coatepec de Harinas y Tenancingo concentran parte sustantiva de la producción principalmente del crisantemo, clavel, rosa gruesa y gladiola (Figura 4), con un valor aproximado reportado de \$2,919,470,000 pesos (SEDAGRO, 2015). En el área de estudio, el total destinado a floricultura es de 21,404 ha, mientras que la agricultura abarca 56,523.59 ha (Figura 4).

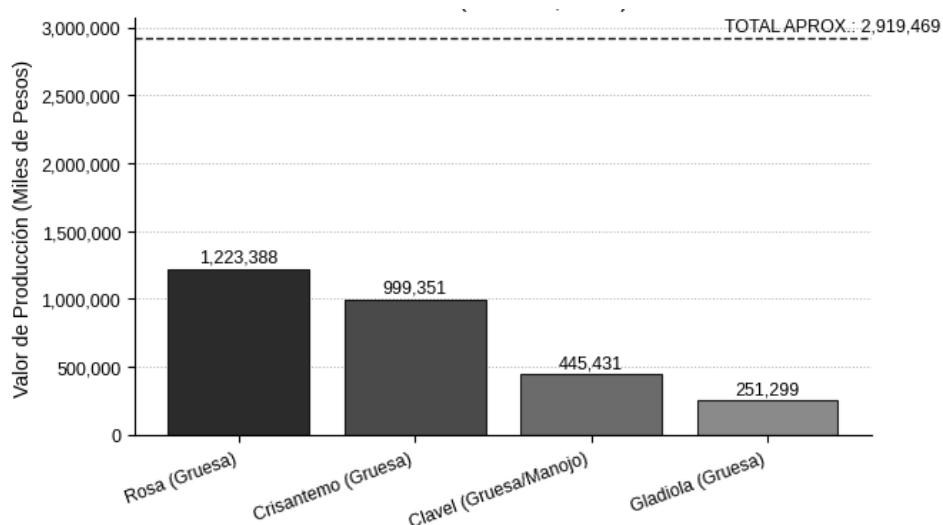


Figura 4: Valor económico de la producción florícola en el área de estudio.

Fuente: SEDAGRO (2015).

En el área de estudio, el total destinado a floricultura es de 21,404 ha, mientras que la agricultura abarca 56,523.59 ha (Figura 5).

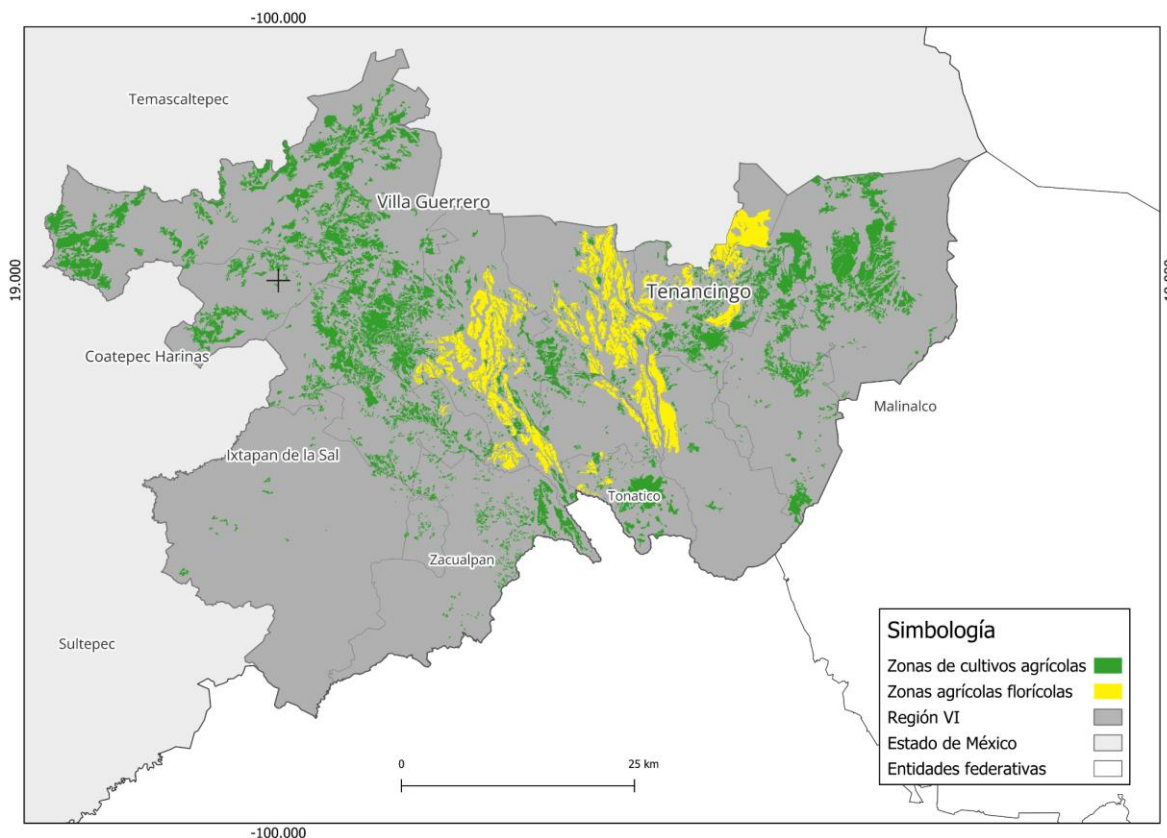


Figura 5. Distribución de los Servicios Ecosistémicos de Alimentos y materias primas, Región VI Ixtapan de la Sal, Estado de México.

Fuente: elaboración propia.

3.3. Servicio ecosistémico Almacenamiento de CO₂

Se estima que la capacidad de almacenamiento de CO₂ en la Región VI alcanza 20,184,763 toneladas. Destaca el bosque de oyamel como la cobertura con mayor capacidad por unidad de superficie (63.33 ton/ha), mientras que encino y pino registran valores cercanos a 31.4 ton/ha; pese a ello, por su extensión, el encino-pino acumula 1,832,809 toneladas, superando el total del oyamel. En el extremo opuesto, la selva baja caducifolia presenta 3.24 ton/ha y un total acumulado de 27,326 toneladas (Tabla 3, Figura 6).

Tabla 3. Total de toneladas de carbono almacenado en bosques y selvas de la región VI.

Tipo de Bosque	Ton/Ha.	Hectáreas	Total, de Toneladas de Carbono Almacenado
Selva B. Caducifolia	3.24	27,327	88,539
Encino-Pino	21.71	24,990	542,513.3
BMDM	26.64	11,615.4	309,435.5
Encino	28.39	53,568	15'207,889
Pino-Encino	31.39	58,324.6	1'830,809.7
Pino	31.48	42,922.4	1'351,197.3
Oyamel	63.36	13,484.5	854,379.5
			2'018,4763.3

Fuente: elaboración propia con base en la Serie V (INEGI 2014).

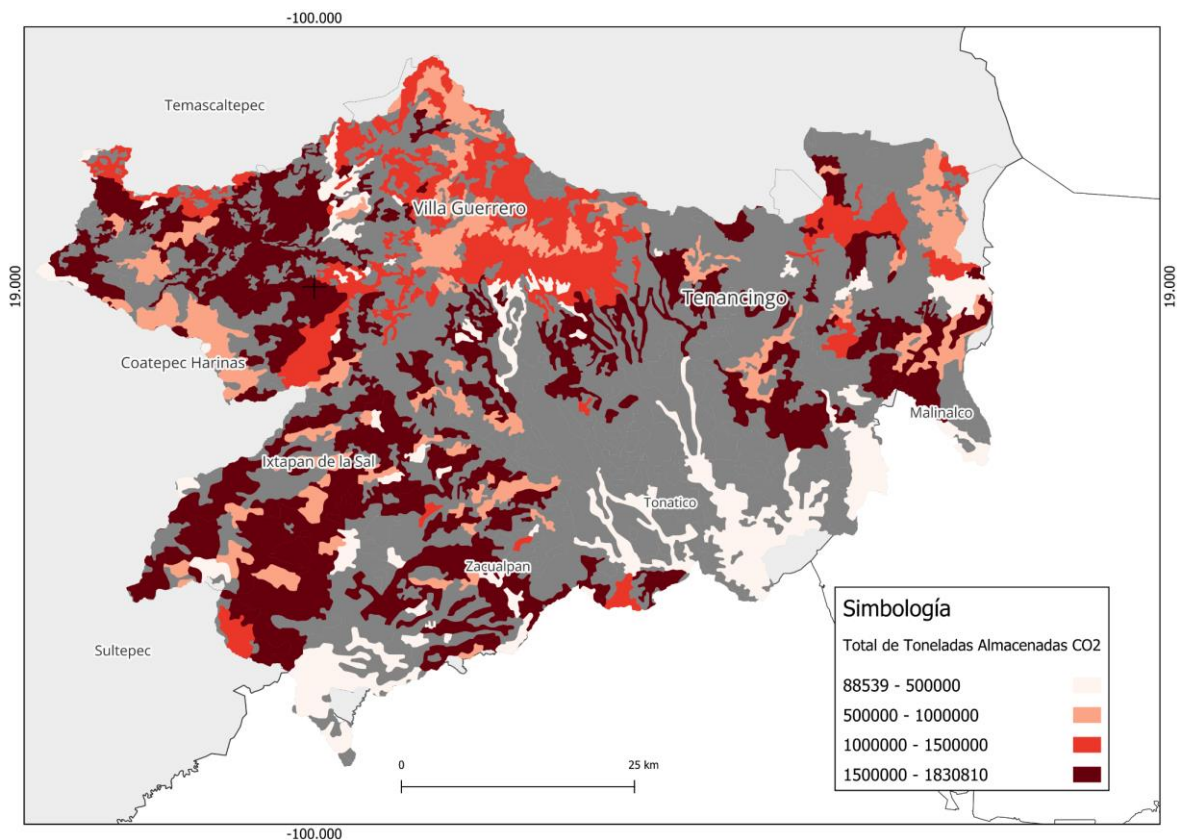


Figura 6. Mapa de almacenamiento total de CO₂ por tipo de vegetación, Región VI, Ixtapan de la Sal, Estado de México.

Fuente: elaboración propia con base en Uso de Suelo y Vegetación INEGI versión V.

En términos espaciales, la mayor concentración del servicio se localiza hacia el poniente regional: Sultepec, Temascaltepec y Zacualpan en relación con áreas protegidas y el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca; en contraste, en el entorno de la cuenca florícola de Coatepec de Harinas se reporta una disminución significativa del servicio.

3.4. Servicio ecosistémico retención de suelo (erosión hídrica potencial)

La pérdida de cobertura vegetal se identifica como un factor determinante en la pérdida de suelo; a ello se suman procesos de contaminación y compactación asociados a floricultura y agricultura, con repercusiones socioeconómicas (p. ej., rendimiento parcelario, seguridad alimentaria) y ecológicas (p. ej., pérdida de hábitat)

La distribución regional es heterogénea (Figura 7): el norte y sureste muestran mayor retención, y se observa una relación entre densidad de cobertura vegetal y mayor capacidad de retención; sin embargo, la pendiente del terreno juega un papel importante en el patrón, pues hay zonas planas con erosión normal aun con cubiertas menos densas. En contraparte en la cuenca florícola predominan valores bajos, explicados por la escasa inclinación y presencia de invernaderos.

Es importante mencionar que la actividad florícola se está expandiendo a los alrededores de la cuenca florícola, en zonas con erosión potencial hídrica mayor, generando un potencial menor para el éxito de este tipo de cultivo en las condiciones en las que actualmente se desarrolla.

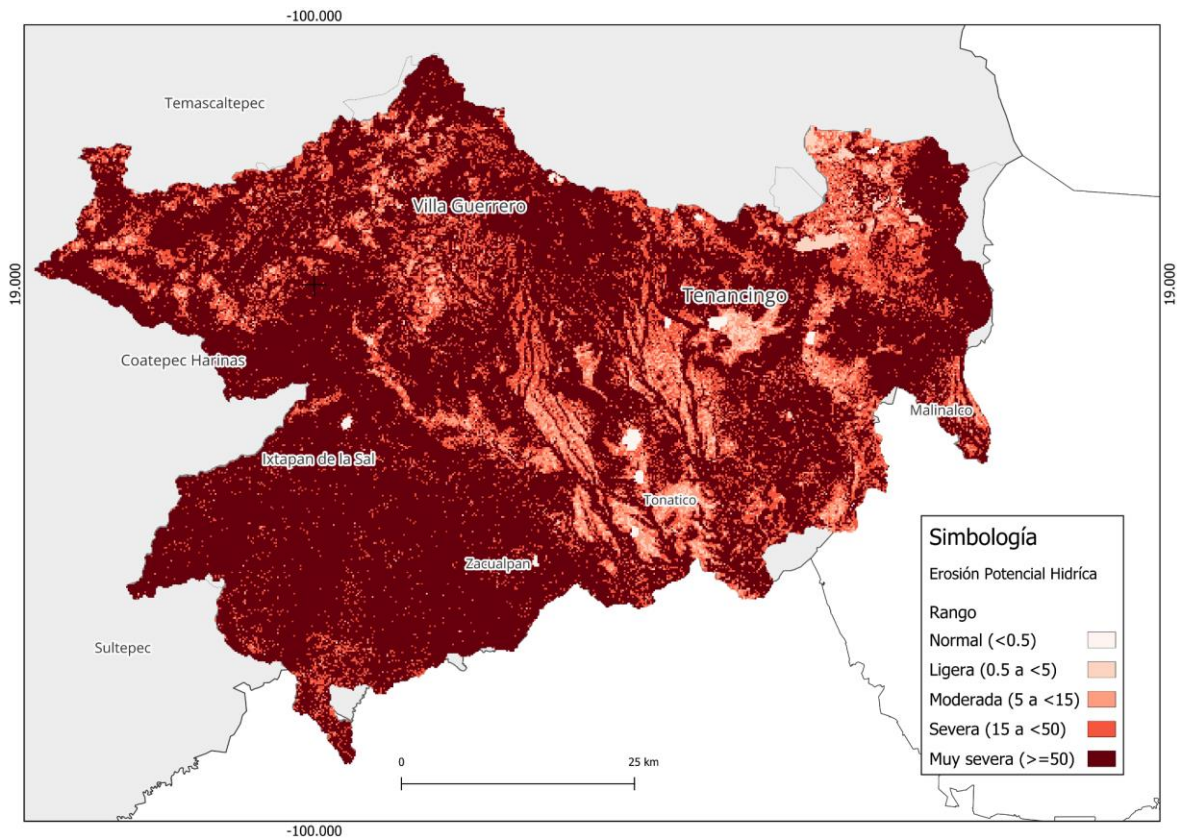


Figura 7. Mapa de la erosión potencial hídrica en la región VI Ixtapan de la Sal, Estado de México.

Fuente: elaboración propia.

3.5. Servicio ecosistémico turismo

El turismo se concentra en el eje Ixtapan de la Sal–Tonatico (Figura 8), reconocidos como Pueblos Mágicos, donde destacan servicios recreativos asociados a balnearios de aguas termales. Se identifican zonas emergentes hacia el entorno del Nevado de Toluca y hacia el sur y este regional, donde se perfila el ecoturismo y turismo de montaña (corredor Tonalico–Taxco).

En el municipio de Tonalico sobresalen las Grutas de la Estrella como atractivo de alto valor por su paisaje subterráneo, formaciones de estalactitas y estalagmitas, infraestructura de

visita y actividades como rappel; se describe una longitud aproximada de 2 km y aspectos culturales atribuidos a periodos prehispánicos.

El componente religioso-cultural se expresa en sitios como Chalma y el Desierto del Carmen, y se mencionan celebraciones regionales y patrimonio construido (ex-convento agustino del siglo XVI). Asimismo, la zona arqueológica de Malinalco se incorpora como referente cultural-territorial de gran relevancia estatal.

Como parte de los atractivos culturales de la región, no puede dejar de considerarse la zona arqueológica de Malinalco. En este sitio se encuentra un monolito de piedra (el cuauhcalli), que representa la división de tres planos del universo: el inframundo, el mundo terrenal y el supramundo (Zúñiga, 2023).

La ruta turística para esta región es muy rica en atractivos tanto naturales como culturales (Figura 8). Los servicios ecosistémicos para el turismo son potencialmente una oportunidad para el desarrollo de las comunidades, considerando que, por el clima, se dan todo tipo de alimentos que dan característica a su gastronomía. Sin embargo, algunos de estos atractivos pueden estar en riesgo de desaparecer en un futuro, por su dependencia de la eficiencia en la recarga de agua que aporta el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca, que han sido impactadas por la agricultura y la tala ilegal en las últimas décadas, sumada al deterioro paisajístico derivado del cambio climático.

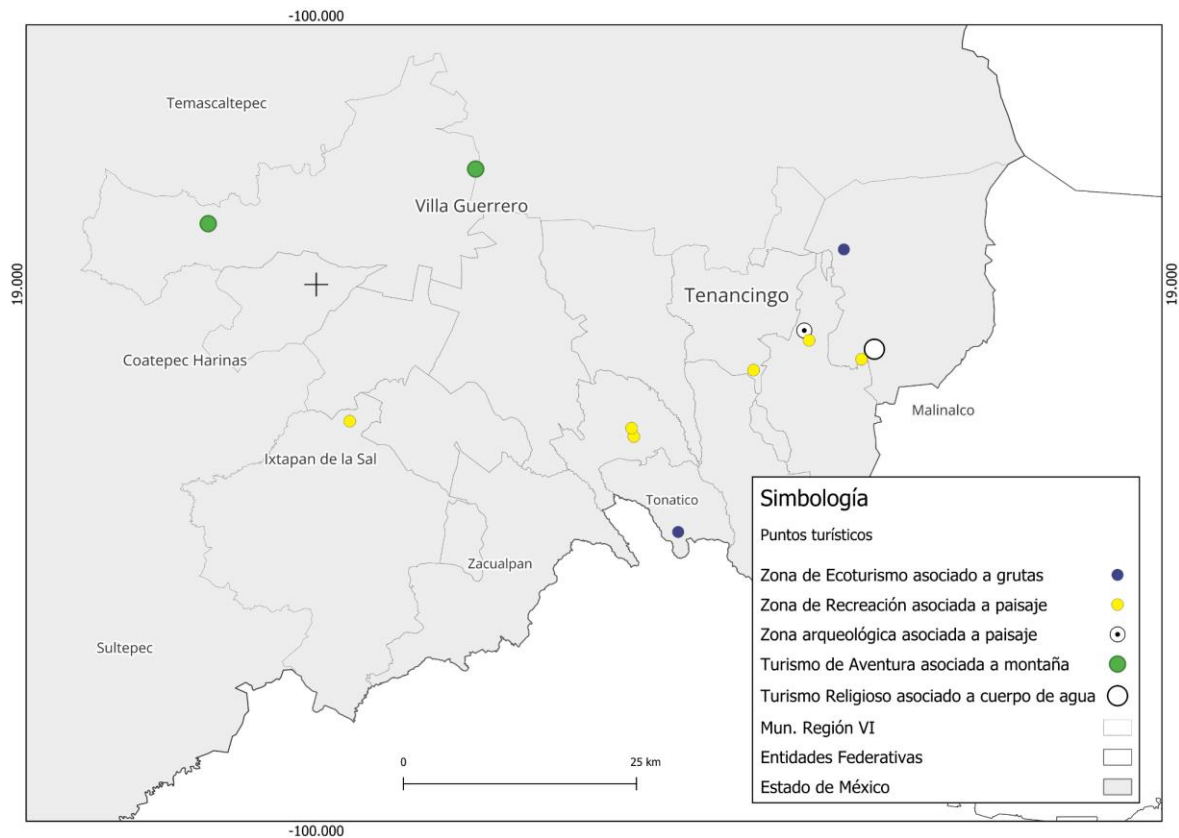


Figura 8. Mapa de Servicios ecosistémicos culturales (Turismo), Región VI Ixtapan de la Sal, Estado de México.

Fuente: elaboración propia.

4. Discusión

4.1. Distribución de los ecosistemas

Bajo diversos escenarios de cambio climático, se señala una posible reducción significativa del bosque de oyamel (*Abies religiosa*): hasta 80% de disminución con modelos Had y ECHAM, y 60% con GFDL; para *Pinus montezumae* se reporta una disminución de 10.59% en escenarios futuros.

En conjunto, se sugiere un incremento de climas cálidos (húmedos y secos), con mayor presencia en zonas bajas del sur regional, donde predominan selvas bajas. En contraste,

climas templados fríos y semicálidos serían más sensibles e incluso podrían desaparecer en escenarios pesimistas, con afectaciones potenciales en el entorno del Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca. Se ha planteado, además, que la vegetación tropical seca y muy seca podría ganar terreno frente a bosques, reduciendo áreas de distribución potencial de especies de climas templados húmedos y fríos, con impactos sobre densidad arbórea, dispersión, migración y adaptación.

Según lo señalado, en ecosistemas selváticos las principales presiones se asocian al cambio de uso de suelo hacia agricultura o ganadería, además de extracción de flora silvestre ornamental y madera con fines económicos, lo que compromete su funcionamiento y continuidad de servicios ambientales. A ello se suma que en la región existen especies en categorías de riesgo conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010.

4.2. Servicio ecosistémico aprovisionamiento (alimentación y materias primas)

Se recupera el argumento de que, si bien existe producción suficiente de alimentos, persisten desigualdades en su distribución; para México se reporta un desperdicio del 37% (más de 10 millones de toneladas), con implicaciones directas para la seguridad alimentaria (SEDESOL, 2017). En esta línea, la producción de alimentos, aunque reconocida como servicio ecosistémico opera también como un factor de presión sobre otros servicios debido al uso extensivo e intensivo del suelo.

En términos prospectivos, escenarios de cambio climático plantean que aumentos de temperatura podrían desplazar condiciones favorables para agricultura de cereales hacia altitudes mayores (por encima de 2,000 msnm), aunque el desarrollo de cultivos seguiría condicionado por variabilidad hidrometeorológica y eventos extremos (Conde, 2000).

Se retoma también que, de acuerdo con IPBES, la agricultura y la floricultura se comprenden como servicios de provisión, pero constituyen actividades de alto impacto ambiental

regional; de ahí la necesidad de transitar hacia prácticas más sustentables. En particular, se reconoce la complejidad socioeconómica de la floricultura y la dificultad de construir alternativas de corto plazo, subrayando la necesidad de procesos de concientización y estrategias técnicas y comerciales para opciones productivas de menor impacto (Domínguez, 2024).

4.3. Almacenamiento de CO₂

Se discute que el almacenamiento de CO₂ ha cobrado visibilidad por esquemas de pago por servicios ambientales (Pro-árbol y el Programa de Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar de CONAFOR, 2023). Sin embargo, se critica que estos instrumentos tienden a priorizar la remediación sobre la concientización comunitaria y que el bajo monto pagado puede desincentivar la conservación, además de riesgos de captura por actores vinculados a tala ilegal.

4.4. Retención de suelo

Se enfatiza el papel del suelo como componente estructural del funcionamiento ecosistémico de ciclos biogeoquímicos y captura de agua con tiempos de formación largos frente a procesos de degradación acelerados. La degradación potencial se entiende como pérdidas o transporte de partículas bajo escenarios de baja cobertura vegetal, intensificadas por lluvia, escurrimiento, erodabilidad y relieve. En este marco, se reitera la relevancia de la cobertura vegetal y los impactos productivos y ecológicos asociados a su pérdida, así como los efectos vinculados a la floricultura y agricultura.

4.5. Servicio ecoturístico turismo

Se plantea que la ruta turística regional es particularmente rica en atractivos naturales y culturales, con potencial para fortalecer economías comunitarias; sin embargo, se advierte el riesgo de deterioro por dependencia de zonas de recarga cercanas al Nevado de Toluca y por cambios climáticos que afectarían precipitación, temperatura y, con ello, paisajes

turísticos. Finalmente, se reconoce que, aunque el estudio se enmarca en Servicios Ecosistémicos, emergen enfoques como Contribuciones de la Naturaleza a las Personas (CNP), que amplían la noción de bienestar y valoran distintos sistemas de conocimiento (indígena, local y científico), relevantes para interpretar bienes culturales como el turismo.

5. Conclusiones

El Estado de México, por su posición de transición fisiográfica y climática, concentra una diversidad ecosistémica notable, en particular, en su zona sur y sureste, las cuales conservan extensas superficies forestales que resultan estratégicas a escala estatal por su papel en la regulación hídrica, la estabilidad de laderas y el almacenamiento de carbono. Sin embargo, estas coberturas se encuentran bajo presión creciente debido a la expansión y reconfiguración de actividades económicas especialmente la floricultura y la agricultura que han intensificado el cambio de uso del suelo y la fragmentación del paisaje.

En este contexto, el turismo constituye un componente central de la economía regional, con localidades consolidadas como: Ixtapan de la Sal y Tonalico, donde balnearios y parques acuáticos dependen de manera directa de la disponibilidad y calidad del agua. Esta dependencia revela un rasgo clave del metabolismo territorial: el bienestar recreativo y el ingreso local se sostienen en procesos ecológicos que ocurren “aguas arriba”. La pérdida de zonas de captación, la disminución de la cubierta vegetal y la compactación del suelo no solo alteran la recarga, sino que incrementan los escurrimientos y la erosión, afectando la seguridad hídrica y, por extensión, la estabilidad de la oferta turística.

De forma transversal, los cambios de uso de suelo de forestal a usos orientados al aprovechamiento económico han implicado perturbación y pérdida de los diversos ecosistemas respecto a su capacidad para sostener servicios ecosistémicos indispensables para el desarrollo regional. No obstante, más que un “déficit ambiental” aislado, el patrón observado expresa una tensión socioespacial: la región produce beneficios (alimentos, flores, turismo) en el corto plazo, pero transfiere costos ambientales en el mediano y largo

plazo, y con frecuencia los desplaza territorialmente. Esto se manifiesta con claridad en la cartografía de retención de suelo, donde las zonas agrícolas, muestran mayor detrimento del servicio, mientras que se reduce simultáneamente la capacidad del almacenamiento de carbono.

En términos sistémicos, la cadena de efectos es acumulativa: al sustituir coberturas forestales por zonas productivas intensivas, se reduce la retención del suelo y la capacidad de almacenamiento de carbono; con ello se agravan condiciones vinculadas a la variabilidad climática y aumenta la vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos que impactan la productividad agrícola, principalmente la de subsistencia. Así, la provisión de alimentos mediante agricultura intensiva puede convertirse en el mediano plazo en un factor que ponga en riesgo a diversas comunidades que practican la agricultura de subsistencia, comprometiendo así la seguridad alimentaria de autoconsumo; en otras palabras, la degradación ambiental se traduce en vulnerabilidad socioeconómica diferencial.

Desde una perspectiva de geografía crítica, este proceso no es neutro: implica relaciones de poder en el territorio, decisiones de política pública y asimetrías en quién se beneficia y quién asume los riesgos. La “vocación productiva” no se despliega únicamente por condiciones naturales, sino por incentivos, mercados, infraestructura y programas institucionales que favorecen ciertas formas de apropiación de los servicios ecosistémicos. Esto puede leerse como una forma de externalización territorial: los costos (erosión, pérdida de recarga, degradación de suelos), afectan con mayor intensidad a comunidades con menor capacidad de adaptación. Ante ello, la región requiere estrategias que no se limiten a la remediación posterior, sino que aborden las causas estructurales del deterioro. La concientización y la información ambiental constituyen bases necesarias para la participación social, pero deben complementarse con instrumentos de gobernanza territorial capaces de regular usos del suelo y prácticas productivas.

6. Agradecimientos

Al Laboratorio Nacional Conahcyt de Tecnologías de la Información Geoespacial para los Sistemas Socioecológicos Resilientes.

7. Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran bajo protesta de decir la verdad que este es un trabajo original y que no existen conflictos de interés. Así mismo, los autores de este artículo nos responsabilizamos del contenido del mismo, donde se aplicaron las mejores prácticas éticas.

8. Referencias

- Balvanera, P., Cotler, H., ... [últimos autores]. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En Conabio (Ed.), Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio (pp. 185-245). Conabio.
- Brea, J. D. y Balocchi, F. (2010). Proceso de erosión y sedimentación en cauces y cuencas. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Bravo-Cadena, J. y Pavón, H. N. (2024). La importancia de los servicios ecosistémicos. Ciencia, 75(4), 64-69.
- Burkhard, B. and Maes, J. (2017). Mapping ecosystem services. Pensoft Publishers.
- Carpenter, S. R., Bennett, E. M. and Peterson, G. D. (2006). Scenarios for ecosystem services: An overview. Ecology and Society, 11(1), 29.
- Cerda, C. y Tironi, A. (2017). La evaluación no monetaria de los servicios ecosistémicos: perspectivas para la gestión sostenible del territorio. Luna Azul, (45), 332-355. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.45.17>

- Challenger, A., Dirzo, R., ... [últimos autores]. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En Conabio (Ed.), Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio (pp. 37-73). Conabio.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2023). Programa de Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (n.d.). Diversidad biológica de México: Estudio de país, antecedentes. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/epcomienzo.html
- Conde, C., Ferrer, R. M. y Liverman, D. (n.d.). Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-MAIZE. Recuperado de http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/agricultura.pdf
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. and van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-259. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Daily, G. C. (Ed.). (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- De Groot, R., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. and Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260-272.
- Domínguez, G.L.G. (2024). Floricultura intensiva y deforestación en Villa Guerrero, Estado de México. Un análisis desde las políticas públicas y la gobernanza. Tesis. El colegio de la Frontera Norte. México.

- Eade, D. O. and Moran, D. (1996). Spatial economic valuation: Benefit transfer using geographical information systems. *Journal of Environmental Management*, 48, 97-110.
- FAO. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO. Roma. 86 p.
- FIRCO (2006). Modelo de Microcuencas: Aprovechamiento de Recursos y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/04/lecciones_aprendidas_del_manejo_de_cuencas_en_mexico.pdf.
- Flores-López, H. E., Ramírez-Vega, H., Byerly-Murphy, K. F., Ruiz-Corral, J. A., Martínez-Sifuentes, J. A., Díaz-Mederos, P. y Alemán-Martínez, V. (2003). Estimación de escurrimiento superficial en la cuenca El Jihuete, México. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 389-400.
- Foro Económico Mundial. (2024). Global Risks Report 2024. Recuperado de <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/digest/>
- Francisco-Nicolás, N., Turrent-Fernández, A., Oropeza-Mota, J. L., Martínez-Menes, M. R. y Cortés-Flores, J. I. (2006). Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 253-260.
- García Rodríguez, C., Curetti, G., Garegnani, G., Grillo, G., Pastorella, F. y Paletto, A. (2016). La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: Un caso de estudio en los Alpes italianos. *Bosque*, 37(1), 41-52.
- Gobierno del Estado de México. (2011). Programa de Desarrollo Regional, Macro Región IV Sur, Región VI, Ixtapan de la Sal. Recuperado de <https://transparenciafiscal.edomex.gob.mx/sites/transparenciafiscal.edomex.gob.mx/files/files/Programas%20Regionales%202006-2011/M%20IV%20-%20R%20X%20Tejupilco.pdf>

- Gobierno del Estado de México, Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna. (2016). Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. Recuperado de http://conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/documentos/ANPL/Mex/SUPERFICIE_PARQUES_JUNIO_2014.pdf
- Gómez-Baggethun, E. and Ruiz-Pérez, M. (2011). Economic valuation and the commodification of ecosystem services. *Progress in Physical Geography*, 35(5), 613–628. <https://doi.org/10.1177/0309133311421708>
- Hernández-Ramírez, C., Bonales Valencia, J. y Ortiz Paniagua, C. F. (2014). Modelos de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del cambio climático. *CIMEXUS*, 9, 33-48.
- Instituto Nacional de Energía y Cambio Climático (INECC). (2020). Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Guía para la interpretación de cartografía: Uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000: Serie V. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Encuesta Intercensal 2015. México: INEGI.
- Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Draper, C., Schägner, J. P., Aiello, R., Zulian, G., Villareal, S. S., Braat, L. and Laval, C. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1(1), 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being*. Island Press.
- Ortiz-Solorio, C. A., & Pérez-García, J. (2009). El Mapa Nacional de Erosión Potencial de México: Metodología y resultados preliminares. *Terra, Nueva Época*, 27(1), 1-18. SciELO México.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP). (2019). Versión II Frontera Agrícola (Atlas). [<https://www.gob.mx/siap/documentos/atlas-agroalimentario-2019>]
- Slootweg, R., Vanclay, F. and van Schooten, M. (2001). Function evaluation as a framework for the integration of social and environmental impact assessment. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 19, 19-28.
- Mondragón, R. E. (2017). Estimación de biomasa aérea y contenido de carbono en bosques y selvas del Estado de México (Tesis de maestría). Colegio de Postgraduados.
- Mooney, H. A. and Ehrlich, P. R. (1987). Ecosystem services: A fragmentary history. En G. C. Daily (Ed.), *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* (pp. 11-22). Island Press.
- Montes-León, M. A., Uribe-Alcántara, E. M. y García, E. (2011). Mapa nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(5/13).
- NASA Shuttle Radar Topography Mission. (2013). NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi.org
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental—Especies nativas de México de flora y fauna silvestres—Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio—Lista de especies en riesgo. Recuperado de <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- Orozco Hernández, M. E. (2007). Entre la competitividad local y la competitividad global: Floricultura comercial en el Estado de México. *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales*, 14(45), 111-160.
- Organización de las Naciones Unidas. (n.d.). Convenio sobre la Diversidad Biológica. Recuperado de <http://www.un.org/es/events/biodiversityday/convention.shtml>

- Pérez Miranda, R., Moreno Sánchez, F., González Hernández, A. y Arriola Padilla, V. J. (2014). Distribución de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. y *Pinus montezumae* Lamb. ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5, 19-33.
- Regil García, H. H. y Franco Maass, S. (2009). Nivel de adecuación del territorio para el desarrollo de especies agrícolas y forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Economía, Sociedad y Territorio*, 9(31), 803-830.
- Rivera Herrera, N. M. (2015). Clusterización y competitividad florícola en el Estado de México [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Tenancingo]. Repositorio Institucional UAEMéx.
- Rojas, G. F. y Villers R., L. (2005). Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán La Malinche. *Madera y Bosques*, 11, 63-71.
- Sánchez Colón, S., Flores Martínez, A., Cruz-Leyva, I. A. y Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En Conabio (Ed.), *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio (pp. 75-129). Conabio.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Qué hay detrás de la floricultura: Más allá de la belleza floral. Blog, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). (2017). México sin hambre. Recuperado de http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/infografia.html
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Panorama Agroalimentario 2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>
- Schlosberg, D. (2013). Theorising environmental justice: The expanding sphere of a discourse. *Environmental Politics*, 22(1), 37–55. <https://doi.org/10.1080/09644016.2013.755387>
- Uttam Roy and Majumder, M. (2016). Vulnerability of watersheds to climate change assessed by neural network and analytical hierarchy process. Springer.

- Villanueva, A., Avitia, J. y Ramírez, J. (2019). Impacto de la producción florícola del sur del Estado de México en los derechos humanos. IEECC, UNAM.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O. and Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1965). Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation (Agric. Handbook). U.S. Department of Agriculture.
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning (Agric. Handbook). U.S. Department of Agriculture.
- Zúñiga, B. B. (2023). Malinalco en la época prehispánica. *Arqueología Mexicana*, 178, 38-43.