Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM
eISSN: 2448-7279 • DOI: https://doi.org/10.14350/rig.61179 • ARTÍCULOS
Núm. 120 • Agosto • 2026 • e61179
www.investigacionesgeograficas.unam.mx

Dinámica del cambio de uso de suelo en tres áreas templadas con distintos regímenes de conservación (2000–2024)

Dynamics of land use change in three temperate areas with different conservation regimes (2000–2024)

Emanuel Molina-Marchan,* José Israel Yerena-Yamallel,** Andrés Eduardo Estrada-Castillón,*** Eduardo Alanís-Rodríguez§ y Óscar Alberto Aguirre-Calderón¶

Recepción: 25/02/2026 Aceptado: 28/04/2026 Publicado: 3/07/2026

Resumen. Los cambios de uso de suelo ocasionan pérdida forestal. La presente investigación determinó los cambios y causas en el uso de suelo y vegetación en tres áreas templadas de México (una Área Natural Protegida (ANP) federal, una ANP estatal y un predio particular (P. P.)) del 2000 al 2024. Se clasificaron imágenes satelitales a través de un método supervisado; posteriormente, se determinó la dinámica de cambios de cobertura para los años 2000, 2008, 2016 y 2024. Y mediante encuestas se identificaron las posibles causas de cambios. Las áreas protegidas mantuvieron su vegetación característica a través del tiempo (2000-2024); en contraste, el P. P. perdió cerca del 50.00 % de sus bosques entre el 2008 y 2016. En el ANP federal, las prácticas de conservación comenzaron posterior a su decreto; en el ANP estatal, reportan actividades de conservación previo a ser declarada área protegida, y en el P. P. se reportan talas clandestinas e incendios que comenzaron en 2016. Las localidades sin protección pueden ser más susceptibles a la deforestación y degradación ecosistémica. Los componentes ambientales, económicos y de seguridad, influyen en su grado de conservación, como en el P. P. que presentó la mayor cantidad de perturbaciones al carecer de prácticas de preservación; el ANP federal, registró uniformidad en su dinámica, posiblemente a causa de su altitud y ubicación alejada de los mayores centros poblacionales; el ANP estatal resultó con mayor homogeneidad en su dinámica, en relación con las actividades que se realizan incluso antes de obtener el decreto oficial.

Palabras clave: áreas naturales protegidas, bosques de coníferas y latifoliadas, cambio de cobertura, clasificación supervisada, teledetección.

Abstract. Land use changes cause forest loss. This study determined the changes and causes of land use and vegetation in three temperate areas of Mexico (a federal Protected Natural Area (PNA), a state PNA, and a private property (P. P.)) from 2000 to 2024. Satellite images were classified using a supervised method; subsequently, the dynamics of coverage

* Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7202-3218. Email: emanuel.molina.marchand@gmail.com
** Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9216-7427. Email: israel.yerena@gmail.com. Autor de correspondencia.
*** Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1061-9862. Email: aeduardoestradac@prodigy.net.mx
§ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6294-4275. Email: eduardo.alanisrd@uanl.edu.mx
¶ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Carretera Nacional km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5668-8869. Email: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

changes were determined for the years 2000, 2008, 2016, and 2024; and surveys were used to identify the possible causes of changes. The protected areas maintained their characteristic vegetation over time (2000-2024); in contrast, the P. P. lost about 50.00 % of its forests between 2008 and 2016. In the federal ANP, conservation practices began after its decree; in the state ANP, conservation activities are reported prior to being declared a protected area, and in the P. P., illegal logging and fires that began in 2016 are reported. Unprotected areas may be more susceptible to deforestation and ecosystem degradation. Environmental, economic, and safety factors influence the degree of conservation, as in the P. P., which experienced the most disturbances due to a lack of preservation practices; the federal ANP showed uniformity in its dynamics, possibly due to its altitude and location far from major population centers; The state protected natural area showed greater homogeneity in its dynamics, in relation to the activities carried out even before the official decree was issued.

Keywords: protected natural areas, coniferous and broadleaf forests, land cover change, supervised classification, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

Las sequías, incendios forestales y huracanes son factores que reducen la biodiversidad (Cansler *et al*., 2024). Sin embargo, la creciente demanda del ser humano para la producción de bienes se ha convertido en una de las principales causas de perturbación en nuestro planeta (Vancutsem *et al*., 2021). Cerca de un tercio de superficie terrestre ha sido transformada en las seis décadas más recientes (Winkler *et al*., 2021).

En países en desarrollo, la modificación de ecosistemas a campos agrícolas o zonas urbanas es una de las razones más frecuentes en la transición de cobertura terrestre (Tefera *et al*., 2025). En México, la principal fuente de perturbación en comunidades naturales se atribuye a la deforestación, que para el año 2022 ocasionó una pérdida de 206 564 ha (CONAFOR, 2024).

Estas perturbaciones se relacionan con decisiones de administración ambiental y patrones de consumo cotidiano (Gao *et al*., 2024). En conjunto, estos factores ejercen una presión constante sobre la biodiversidad (Wang *et al*., 2023), a causa de una menor superficie habitable y a la simplificación de la estructura vegetal (Gordon *et al*., 2018), lo que a su vez reduce la disponibilidad de recursos (Stone *et al*., 2023).

Como respuesta a esta problemática se han establecido Áreas Naturales Protegidas (ANP) con el fin de preservar la biodiversidad, representación de los ecosistemas y servicios ambientales (Tilman *et al*., 2017). La evaluación de cambios de cobertura y uso de suelo (CCUS) de estas áreas mediante matrices y mapas permite el contraste a escala espacio-tiempo (Chughtai *et al*., 2021; Zhao *et al*., 2024). Asimismo, dichos análisis contribuyen a la administración de regiones en las que habitan especies endémicas o en alguna categoría de riesgo (Baig *et al*., 2022).

Por estas razones, el objetivo de la presente investigación fue identificar los cambios y causas en el uso de suelo en un ANP federal, un ANP estatal y un área sin decreto oficial, desde el año 2000 hasta el 2024, con el fin de comprender su grado de conservación y proporcionar información de utilidad para las estrategias de manejo en cada localidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio comprende tres áreas en el noroeste de México, en los estados de Chihuahua y Durango (Figura 1). El Área de Protección de Flora y Fauna Cerro Mohinora (APFFCM) se localiza al sur de Chihuahua. Esta ANP federal cubre una superficie de 9126.35 ha y presenta un gradiente altitudinal desde 2100 hasta 3307 m, lo que la convierte en la zona de mayor altitud del estado. Además, alberga 48 taxones dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2019); la mayoría pertenecen a las familias Pinaceae, Colubridae y Accipitridae (CONANP, 2017). Registra clima templado, con temperatura media anual entre cinco y 12 °C, una precipitación anual aproximada de 1000 mm. Los suelos son de tipo litosol, regosol, feozem háplico y cambisol *é*utrico (CONANP, 2017).

La Quebrada de Santa Bárbara, se ubica en Pueblo Nuevo, Durango, se decretó como área de protección de recursos naturales (APRN) a nivel

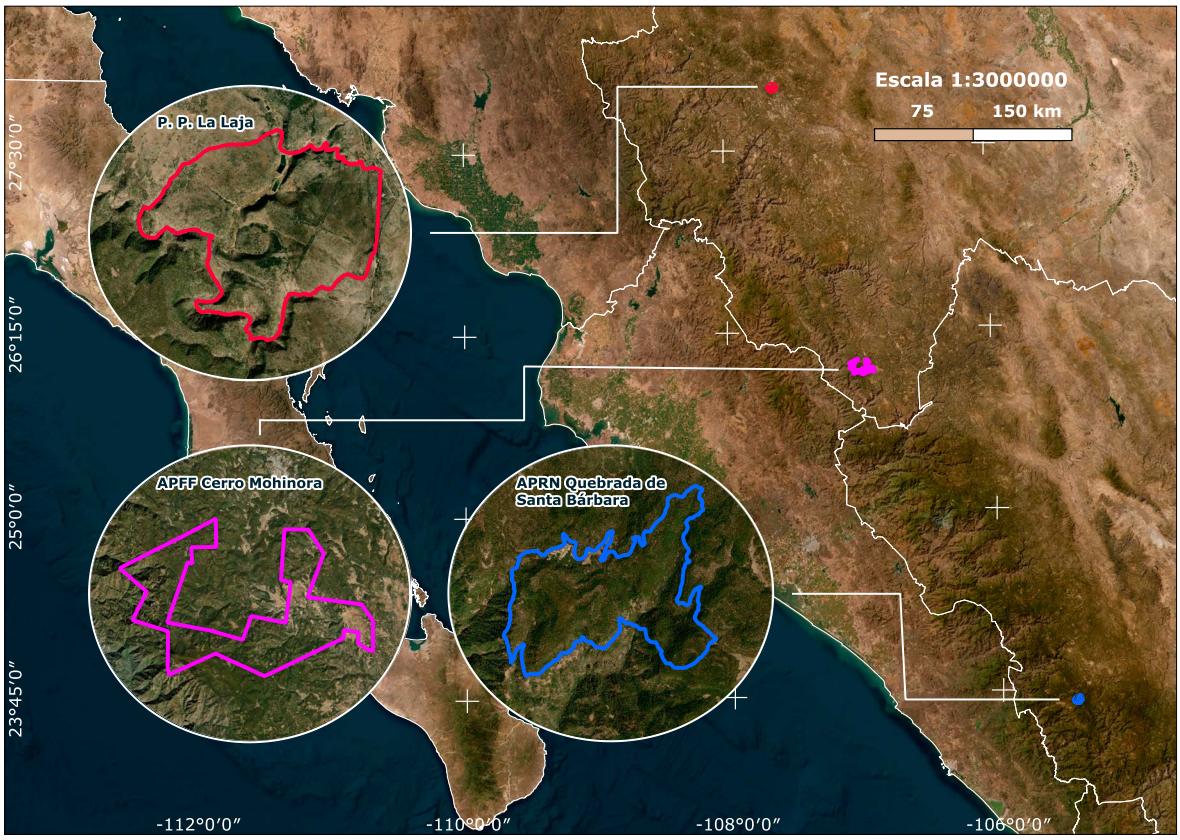

Figura 1. Localización de las áreas de estudio.

estatal en el año 2008 debido a su vegetación prístina, importancia hidrológica y de diversidad de especies (Rentería-Arrieta y Montiel-Antuna, 2017). Comprende 590 ha en conjunto con su zona de amortiguamiento, y su altitud oscila entre 2655 y 2851 m (INEGI, 2017). Presenta dos tipos de clima, semifrío subhúmedo C(E)(w2) y templado subhúmedo C(w2) con temperatura promedio anual de 11.3 °C y precipitación total anual de 1019 mm (García, 2004). Los suelos dominantes son leptosol, luvisol y umbrisol (INEGI, 2020).

El predio particular La Laja (PPLL) se localiza en Bocoyna, Chihuahua. Esta zona no se localiza dentro de alguna ANP. Posee una extensión aproximada de 867.51 ha, con un gradiente altitudinal de 2301 a 2444 m (INEGI, 2017). El clima es C(w2) (García, 2004) y el suelo es de tipo regosol *é*utrico (INEGI, 2020).

Análisis de la información

Obtención y clasificación de imágenes satelitales

El análisis del CCUS se realizó mediante imágenes satelitales Landsat 5 TM para los años 2000 y 2008, Landsat 8 OLI-TIRS y Landsat 9 OLI-TIRS para el 2016 y 2024, respectivamente, mismas que fueron obtenidas a través del Servicio Geológico de Estados Unidos (https://earthexplorer.usgs.gov). Posterior a la adquisición de insumos, se aplicó la corrección atmosférica y radiométrica en cada imagen mediante el complemento de clasificación semiautomática (Congedo, 2021).

Después de la etapa de preprocesamiento, se realizó la clasificación de las imágenes con un método supervisado por su mayor precisión (Shen *et al.*, 2024). En este caso se utilizó el algoritmo random forest, que es reconocido por su alta confiabilidad y precisión en análisis multitemporales (Svoboda *et al.*, 2022).

Finalmente, para analizar cuatro periodos temporales (2000-2008, 2008-2016, 2016-2024, 2000-2024), se establecieron ocho categorías de uso de suelo y vegetación con base en las condiciones de las áreas de estudio: agrícola, asentamientos humanos y caminos, bosque de coníferas, bosque de latifoliadas, bosque mixto, cuerpo de agua, pastizal inducido y vegetación secundaria de bosque de coníferas.

Análisis multitemporal de los cambios de cobertura

El cambio neto se estimó a partir de la diferencia en la superficie de cada clase de uso de suelo entre dos periodos. Si el resultado representa valores positivos, indica que existe ganancia para la categoría; por el contrario, valores negativos representan una pérdida de área.

Este parámetro fue determinado a partir de la siguiente ecuación propuesta por la FAO y UNEP (2020):

$$\text{Cambio neto} = \text{ganancia(ha)} - \text{pérdida(ha)}$$

La tasa de cambio y el porcentaje de cambio son métodos cuantitativos utilizados de forma frecuente en la identificación de dinámicas de cobertura (Opedes *et al.*, 2022). La tasa de cambio (Hastie *et al.*, 2009) se calculó mediante la fórmula que se muestra a continuación:

$$R\Delta = \frac{Z - X}{w}$$

donde:

RΔ= tasa de cambio (ha/años), W= diferencia en años entre el tiempo reciente y el periodo inicial, X= superficie del periodo inicial, Z= superficie del año reciente.

El porcentaje de cambio de cada categoría se determinó de la siguiente manera:

$$\Delta A = \frac{(A_2 - A_1)}{A_1} * 100$$

donde:

ΔA= porcentaje de cambio (%), A_1 y A_2= área del uso de suelo o vegetación del año inicial y final, respectivamente.

La deforestación anual para cada una de las nueve categorías de cobertura en cada periodo se estimó con la ecuación desarrollada por Puyravaud (2003):

$$r = \left(\frac{1}{t_2 - t_1}\right) \cdot \ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

donde:

r= deforestación anual, t_1= año inicial, t_2= año final, A_1= área al inicio del periodo, A_2= área al final del periodo.

Evaluación de la precisión

Para determinar la precisión de forma cuantitativa en la clasificación de usos de suelo en las imágenes satelitales, se utilizó el módulo r.kappa para el software QGIS 3.40.9 (QGIS Development Team, 2023) que calcula el índice de Kappa a partir de la siguiente ecuación (Sim y Wright, 2005):

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

donde:

K= índice de Kappa, Po= concordancia observada, Pe= concordancia esperada debido al azar, 1-Pe= máxima concordancia potencial no explicable por el efecto aleatorio.

Causas posibles de los cambios en la vegetación y usos de suelo

Para complementar el análisis y comprender las posibles causas que generan cambios en las tres localidades, se aplicaron encuestas semiestructuradas a las personas que habitan o trabajan en cada zona (Anexo 1). El cuestionario considera lo propuesto por Pascual-Hernández *et al.* (2024) con adaptaciones; la cantidad de encuestados se determinó con la siguiente ecuación (Aguilar-Barojas, 2005):

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2(N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

donde:

n= tamaño de la muestra, N= tamaño de la población, Z= valor del nivel de confianza (p= 0.05), d= nivel de precisión con base en el intervalo de confianza deseado, p= proporción aproximada al caso de estudio en la población referida, q= propor-

ción de la población de referencia que no presenta el caso de estudio (1-p).

RESULTADOS

Precisión en la clasificación de imágenes

La categorización de las imágenes satelitales registró una precisión media del índice de Kappa de 0.91 en el APFFCM, 0.87 en PPLL y 0.84 en APRNQSB; debido a los resultados previos, el proceso de clasificación demostró una fuerte concordancia entre los datos de referencia y los valores de los mapas generados (Lillesand y Kiefer, 2015).

Usos de suelo y vegetación

Los valores de superficie y porcentaje de los usos de suelo y vegetación muestran un comportamiento consistente entre el 2000 y el 2024 en las dos *áreas protegidas,* aunque su estabilidad puede relacionarse con las estrategias de conservación (Tabla 1). En el caso del Cerro Mohinora que recibió el decreto de manera oficial como Área de Protección de Flora y Fauna en el 2015 (CONANP, 2017), no muestra un cambio significativo previo o posterior a ese año en la pérdida y ganancia de cobertura forestal.

En ambas localidades con decreto de protección, los bosques de coníferas y bosques mixtos superan el 82.00 % de la superficie en cada periodo. Estos valores sugieren una dominancia de las comunidades más representativas en ecosistemas templados de México (Alfaro-Reyna *et al.*, 2019).

Asimismo, en el PPLL, los bosques de coníferas y mixtos representaron más del 80 % del área para el periodo del 2000 al 2008. Cabe señalar que, en ese tiempo, todas las categorías resultaron con una variación inferior del 1.00 %. Sin embargo, en el 2016 alcanzó una transformación notable en todas sus clases, los dos tipos de cobertura más extensos presentaron una reducción aproximada del 50.00 %. Por el contrario, la vegetación secundaria de bosque de coníferas pasó de cubrir el 4.17 % al 48.08 % del área.

Tabla 1. Superficie y porcentaje de los usos de suelo y vegetación para el Cerro Mohinora, la Quebrada de Santa Bárbara y el Predio particular La Laja, para los años 2000, 2008, 2016 y 2024.

Uso de suelo y vegetación	2000		2008		2016		2024	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
ANP federal Cerro Mohinora								
BC	5815.98	63.73	5622.48	61.61	5422.05	59.42	5409.73	59.33
BM	1734.16	19.00	2293.99	25.14	2337.89	25.62	2306.52	25.25
BL	66.06	0.72	47.43	0.52	93.69	1.03	94.05	1.03
A	681.34	7.47	588.24	6.45	594.72	6.52	596.34	6.53
AHC	39.16	0.43	43.13	0.47	48.72	0.53	50.48	0.55
PI	788.85	8.64	530.28	5.81	668.43	6.89	668.43	7.32
Superficie total	9125.55	100	9125.55	100	9125.55	100	9125.55	100
ANP estatal Quebrada de Santa Bárbara								
BC	147.82	24.82	115.17	19.34	149.64	25.12	151.89	25.50
BM	425.62	71.46	453.97	76.22	424.2	71.22	421.59	70.78
BL	17.37	2.92	19.71	3.31	14.13	2.37	14.94	2.51
VSBC	3.42	0.57	4.18	0.7	3.42	0.57	3.51	0.59
AHC	0.36	0.06	0.45	0.08	0.63	0.11	0.63	0.11
CA	1.03	0.17	2.14	0.36	3.6	0.6	3.06	0.51
Superficie total	595.62	100	595.62	100	595.62	100	595.62	100

Tabla 1. Continuación.

Uso de suelo y vegetación	2000		2008		2016		2024	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
P. P. La Laja								
BC	463.05	53.38	466.92	53.82	241.29	27.81	350.46	40.4
BM	286.38	33.01	287.01	33.09	162.36	18.72	46.17	5.32
BL	68.67	7.92	64.44	7.43	31.05	3.58	5.4	0.62
A	9.27	1.07	9.54	1.1	12.78	1.47	19.71	2.27
AHC	3.06	0.35	3.42	0.39	3.27	0.38	3.08	0.36
VSBC	37.08	4.27	36.18	4.17	416.76	48.04	442.69	51.03
Superficie total	867.51	100	867.51	100	867.51	100	867.51	100

A: agricultura, AHC: asentamientos humanos y caminos, BC: bosque de coníferas, BM: bosque mixto, BL: bosque de latifoliadas, CA: cuerpo de agua, PI: pastizal inducido, VSBC: vegetación secundaria de bosque de coníferas.

Estos valores sugieren posibles perturbaciones que modificaron el ecosistema, como talas clandestinas, plagas, incendios, entre otros factores; lo que potencialmente ocasionó la transición entre tipos de comunidades, ya que al eliminar el estrato arbóreo y al abrir el dosel, los pastizales se pueden establecer como vegetación secundaria (Hernández-Hernández *et al*., 2023; Poorter *et al*., 2024).

Debido a los resultados antes señalados, el estudio demostró una tendencia en la que las áreas protegidas conservan un relativo equilibrio y representatividad ecológica. Lo que no solo beneficia a las especies arbóreas, sino que además favorece a los otros organismos que dependen de los recursos que proporcionan estas comunidades (Castruita-Esparza *et al*., 2023). Por el contrario, el predio particular al carecer de estrategias estandarizadas de conservación es más susceptible a presentar alteraciones que modificaron de manera significativa la tendencia de la sucesión forestal.

Dinámica de los cambios de cobertura

Las tres áreas evaluadas poseían para el año 2000 la mayor extensión de bosques de coníferas y masas mixtas. Por el contrario, los asentamientos humanos y caminos fueron el uso de suelo menos representativo, con un valor inferior a 1.00 % para ese año. No obstante, las dos ANP presentaron una tendencia en el incremento para esta categoría a través del tiempo.

En el 2008, en general, se mantuvo la homogeneidad en las superficies de las distintas clases. No obstante, dentro del área de protección federal, el bosque mixto alcanzó su mayor incrementó de superficie. Por su parte, el pastizal, cuerpos de agua y asentamientos humanos, en general eran las tres categorías de menor extensión en las distintas localidades.

En el 2016, la investigación reveló los mayores cambios (Figura 2), aunque el tipo de vegetación más abundante en cada ANP alcanzó la mayor pérdida de superficie, permaneció como el tipo de comunidad más extensa en cada localidad; caso contrario al predio particular, que perdió cerca de la mitad del *área* de bosques de coníferas y la vegetación secundaria pasó a ser el tipo de cobertura *más representativ*a.

Para 2024, las áreas protegidas mostraron una ligera fluctuación en sus valores, posiblemente relacionado con las estrategias de manejo que buscan la representatividad ecosistémica para mantener el funcionamiento y garantizar los servicios ambientales que proporcionan (Pulido-Chadid *et al*., 2023). A su vez, en el PPLL, de 2016 a 2024, la comunidad de coníferas alcanzó el máximo incremento, a diferencia de los otros tipos de bosques que aumentaron su pérdida de superficie.

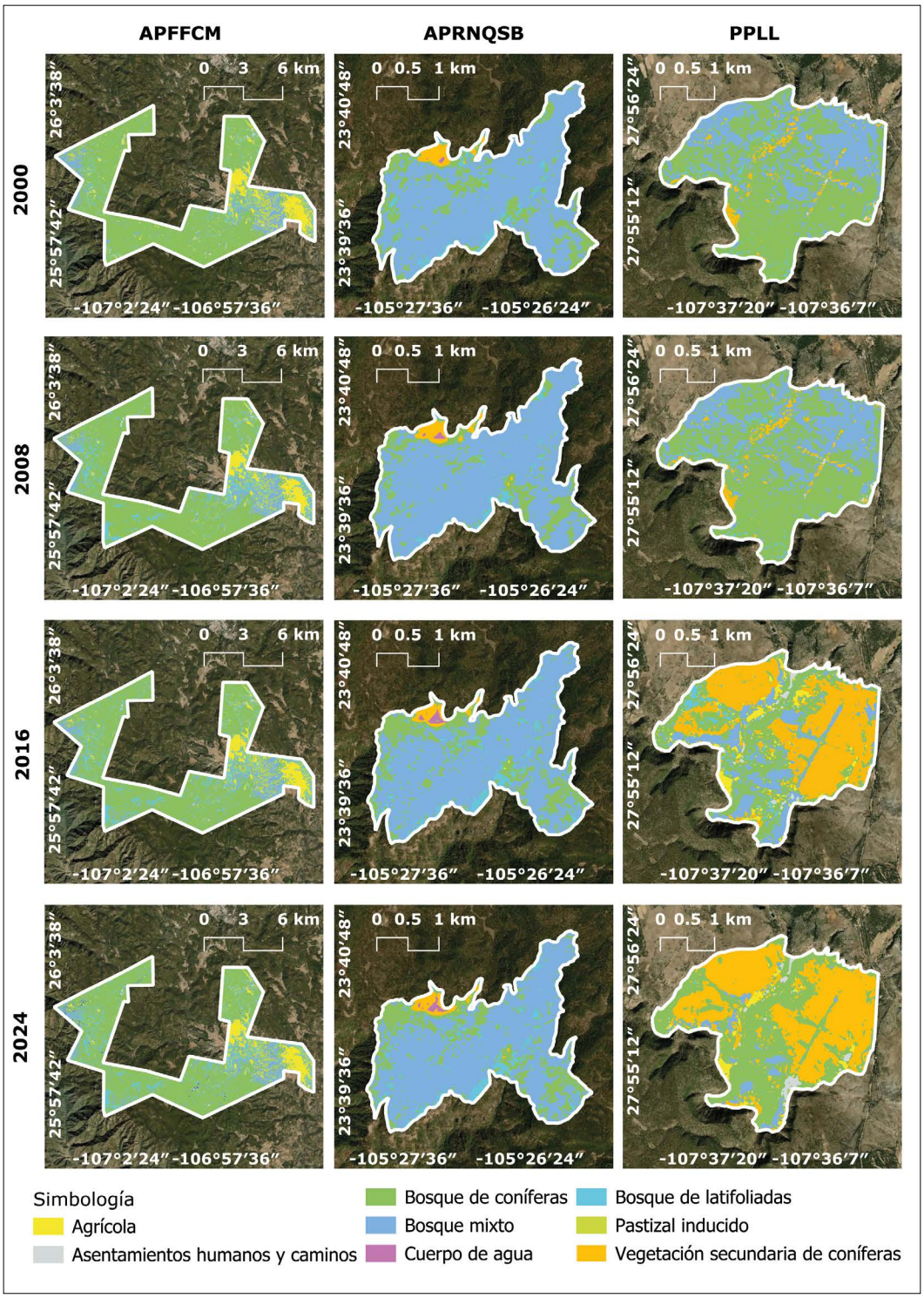

Figura 2. Usos de suelo y vegetación en las tres áreas de estudio para los periodos 2000, 2008, 2016 y 2024. APFFCM: Área de Protección de Flora y Fauna Cerro Mohinora, APRNQSB: Área de Protección de los recursos naturales Quebrada de Santa Bárbara, PPLL: Predio particular La Laja.

Las cuatro comparaciones temporales muestran las transiciones en los valores de cambio relativo para las tres áreas en diversas clases (Figura 3). Dentro del APFFCM, los bosques de coníferas perdieron cobertura en todos los lapsos de tiempo; sin embargo, estos valores oscilaron entre -0.23 % y -6.99 %, lo que sugiere una transición paulatina para esta vegetación, principalmente relacionado con el aumento general de los bosques mixtos y de latifoliadas en los dos periodos más recientes (2008-2016 y 2016-2024).

Dichos valores podrían asociarse a cambios naturales o antrópicos que generan condiciones más cálidas para el desarrollo de latifoliadas (Kim *et al*., 2024). Por su parte, la agricultura (-12.48 %) y el pastizal inducido (-15.27 %), redujeron su cobertura del 2000 al 2024. Este cambio podría considerarse positivo para la preservación de las comunidades forestales; no obstante, los asentamientos humanos registraron en general un cambio positivo a través del tiempo, lo que es una tendencia en la actualidad, debido a la relación positiva entre el aumento poblacional humano con la demanda de caminos y edificaciones (Angel, 2023).

En el ANP estatal, las comunidades de coníferas alcanzaron su mayor incremento en el periodo 2008 a 2016. Estos valores pueden relacionarse con el decreto del área en el 2008 (Periódico Oficial del Estado de Durango, 2008), que promovió la preservación del ecosistema y de las especies *Cupressus lusitanica* Mill, *Picea chihuahuana* Martínez, *Pinus strobiformis* Engelm. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, que se encuentran dentro de alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2019 (SEMARNAT. 2019). Asimismo, el aumento de asentamientos y caminos sugiere una mejora en la infraestructura del área para regular el recorrido de los visitantes.

Los valores antes señalados contrastan de forma considerable con los obtenidos en el predio particular, debido a que entre el 2000 y 2008 todos sus tipos de vegetación forestal presentaron valores estables. Sin embargo, en el periodo total de esta investigación, alcanzaron *pérdidas desde el -24.31* % (bosque de coníferas) hasta el -92.14 % (bosque mixto).

Estos valores atípicos refuerzan la hipótesis de una fuerte perturbación en el ecosistema, que

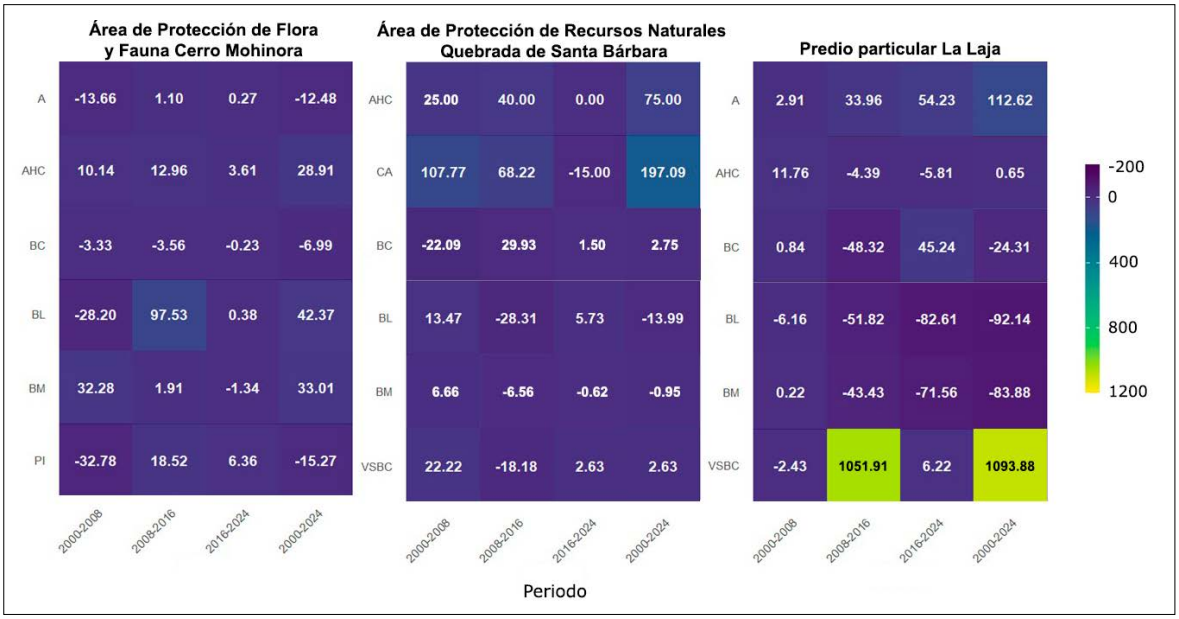

Figura 3. Cambio relativo (%) en las tres áreas de estudio para los periodos temporales 2000-2008, 2008-2016, 2016-2024 y 2000-2024. A: agricultura, AHC: asentamientos humanos y caminos, BC: bosque de coníferas, BM: bosque mixto, BL: bosque de latifoliadas, CA: cuerpo de agua, PI: pastizal inducido, VSBC: vegetación secundaria de bosque de coníferas.

puede estar relacionada con incendios y talas clandestinas, ya que son algunos de los factores que ocasionan una mayor pérdida de cobertura vegetal (Bousfield *et al*., 2023).

El análisis de la tasa de cambio (Figura 4) respalda los resultados previos. Para el APFFCM de 2000 a 2024, los bosques de coníferas son el único tipo de vegetación forestal con pérdida, con un valor de -16.93 ha/año; por su parte, el bosque mixto presentó la máxima recuperación con 23.85 ha/año.

En los 24 años de análisis en el APRNQSB, todos los tipos de vegetación y uso de suelo, excepto los bosques mixtos y de latifoliadas, presentaron un aumento en su tasa de cambio. Cabe señalar que esta fue la localidad con una tasa de cambio más homogénea.

Por su parte, en el PPLL todas las comunidades de coníferas, latifoliadas y mixtas, en su mayoría muestran una pérdida de extensión, con valores que fluctúan entre -2.64 y -28.20 ha/año. A diferencia de la vegetación secundaria de coníferas que incrementó 47.57 ha/año en el periodo 2008-2016 y alcanzó la mayor superficie en la zona.

Las dos ANP presentan valores uniformes en la tasa de deforestación en todos los tipos de bosques del 2000 al 2024 (Figura 5). Cabe señalar que en ambas localidades el valor más alto es 9.14 %/año para los cuerpos de agua del APRNQSB, lo que sugiere una mayor precipitación de la zona en periodo más antiguo (2000-2008) o un uso con mayor moderación para este recurso.

En contraste, el predio particular posee deforestación en cuatro de seis categorías, lo que resulta en un cambio abrupto para la preservación de especies relicto con requerimientos ambientales especialistas que habitan en la zona, como *P. strobiformis* y *P. chihuahuana* Martínez.

Componentes y causas de cambios del uso de suelo y vegetación

Para identificar las posibles causas en los cambios de cobertura y favorecer la comprensión en la dinámica de las tres localidades, se aplicaron un total de 254 encuestas. El 40.94 % correspondió a los habitantes y administradores del APFFCM, el 34.25 % al APRNQSB y el 24.81 % fue para el PPLL.

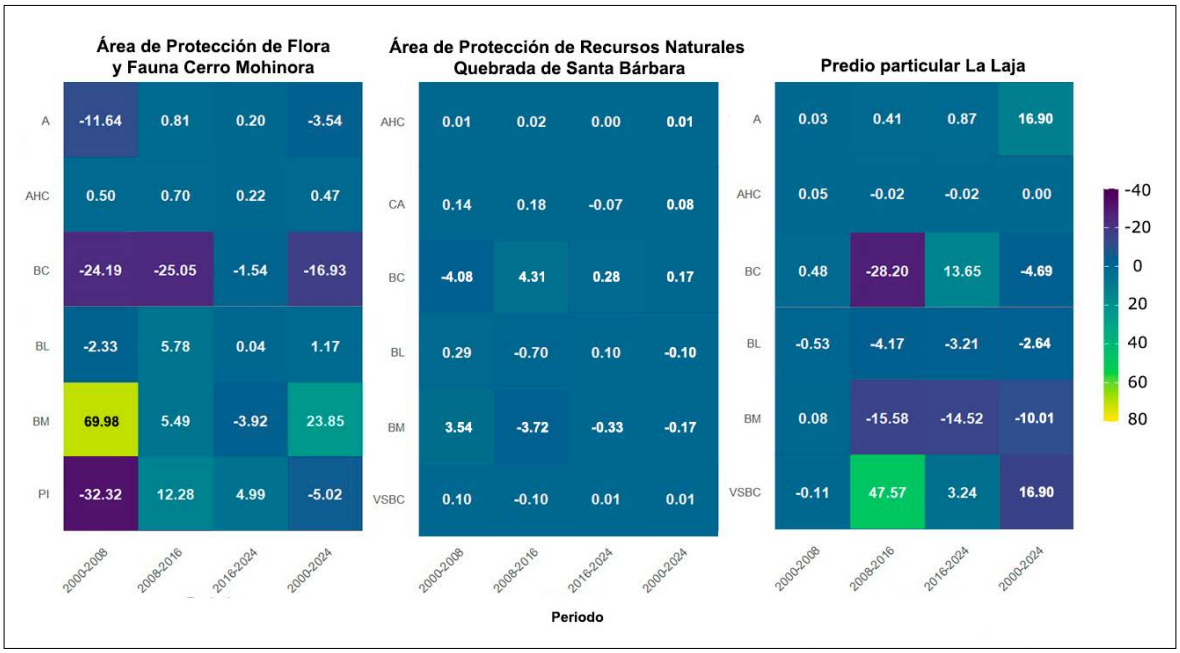

Figura 4. Tasa de cambio (ha/año) en las tres áreas de estudio para los periodos temporales 2000-2008, 2008-2016, 2016-2024 y 2000-2024. A: agricultura, AHC: asentamientos humanos y caminos, BC: bosque de coníferas, BM: bosque mixto, BL: bosque de latifoliadas, CA: cuerpo de agua, PI: pastizal inducido, VSBC: vegetación secundaria de bosque de coníferas.

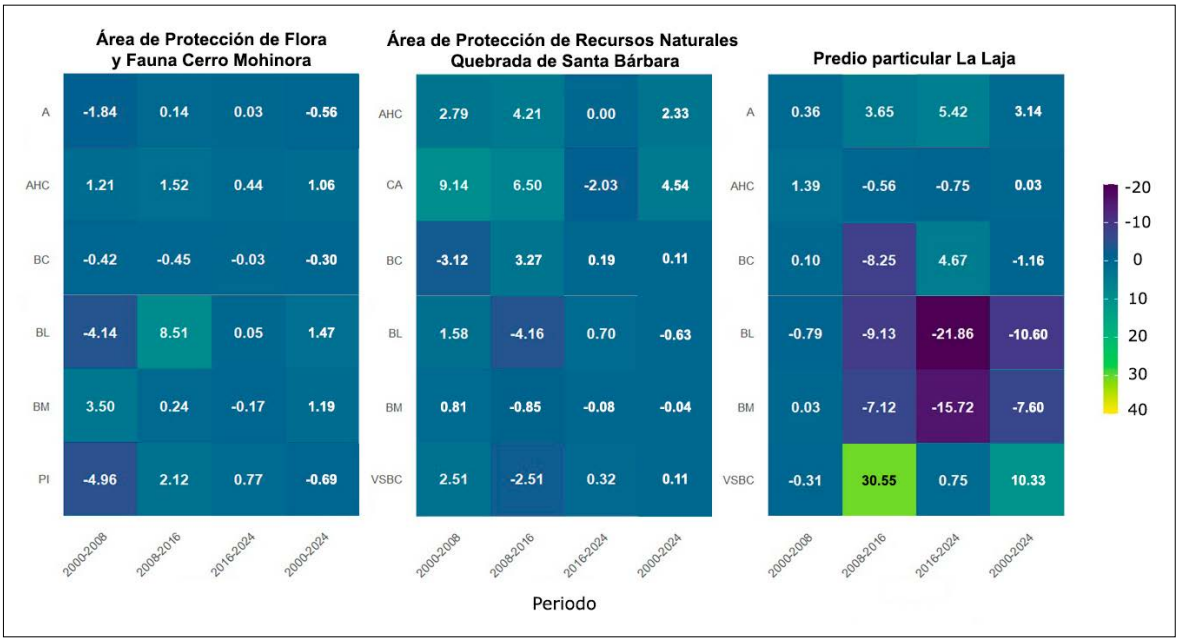

Figura 5. Tasa de deforestación (%/año) en las tres áreas de estudio para los periodos temporales 2000-2008, 2008-2016, 2016-2024 y 2000-2024. A: agricultura, AHC: asentamientos humanos y caminos, BC: bosque de coníferas, BM: bosque mixto, BL: bosque de latifoliadas, CA: cuerpo de agua, PI: pastizal inducido, VSBC: vegetación secundaria de bosque de coníferas.

El análisis de las conexiones entre componentes, periodos y *áreas*, revela que las especies de mayor interés económico son *Pinus durangensis* Martínez, *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. y distintos taxones del género *Quercus* (Figura 6). Es importante mencionar que en el PPLL se reporta la extracción de *P. strobiformis*, incluso al estar sujeta a protección especial, lo que refleja prácticas inapropiadas en la zona.

Por su parte, las especies *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus cooperi* C. E. Blanco y *P. durangensis* se presentan en las clases de especies aprovechadas y reforestadas. Esto sugiere un alto interés de mantener sus poblaciones para fines productivos, así como una eficiente adaptabilidad para habitar en estas zonas templadas.

El periodo con más registros fue del 2000 a 2024, lo que refleja un uso constante en la mayoría de los distintos componentes. También indica continuidad de las actividades de conservación dentro de las ANP, incluso antes de tener un decreto oficial que las proteja.

En contraste, en el PPLL señalan la extracción de material vegetal para leña y elaboración de muebles rústicos. Además, desde 2016 hasta el 2024, refieren dos tipos de perturbación, incendios forestales y talas clandestinas.

DISCUSIÓN

Usos de suelo y vegetación

En el APFFCM y el APRNQSB, desde el 2000 al 2024 los tipos de vegetación más abundantes pertenecen a las comunidades conformadas por coníferas y latifoliadas, principalmente conformadas por pinos y encinos. La extensión de estas masas en los ecosistemas templados a nivel nacional se relaciona con su biogeografía y diversificación de especies (Ruacho-González *et al.*, 2025), ya que México es considerado centro de diversidad a nivel mundial por albergar 48 taxones del *género Pinus* (Sosa-Díaz *et al.*, 2024) y más de 160 especies de *Quercus* (Valencia, 2004).

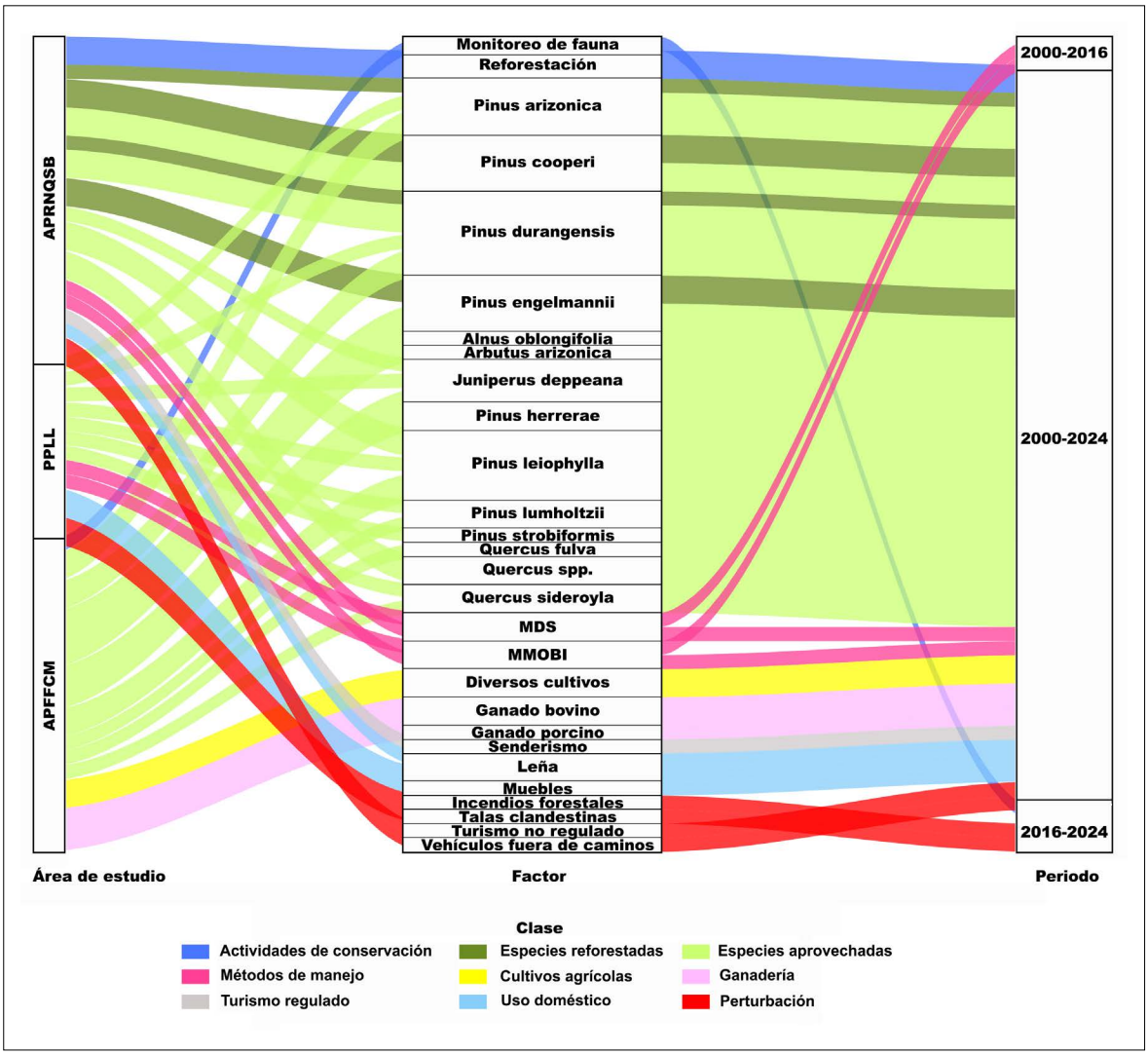

Figura 6. Relación de componentes asociados a los cambios de cobertura a través del tiempo en las *áreas de estudio*. APRNQSB: Área de Protección de los Recursos Naturales Quebrada de Santa Bárbara, APFFCM: Área de Protección de Flora y Fauna Cerro Mohinora, PPLL: Predio particular La Laja, MDS: Método de Desarrollo Silvícola, MMOBI: Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares.

La categoría de asentamientos humanos y caminos en las ANP's fue la de menor superficie, con valores que oscilan entre 0.06 y 0.55 %. Esta característica es frecuente en América del Norte, ya que es una de las regiones con menor superficie edificada en zonas protegidas (0.03 %) (De la Fuente *et al.*, 2020).

Por su parte, entre el 2000 al 2008, el PPLL presentó un comportamiento similar a las ANP en la dinámica de sus categorías; sin embargo, al comparar periodo de 2000 a 2024 mostró una pérdida de 416.07 ha en los bosques de coníferas, latifoliadas y mixtos, lo que representa cerca del 50.00 % del área total. Estos valores contrastan con los referidos por Sandoval-García *et al.* (2024) en su investigación realizada en el estado de Chihuahua, ya que refieren una mayor recuperación de cobertura forestal en el Ejido El Largo y Anexos, en comparación

con un ANP. No obstante, dicho ejido es uno de los de mayor superficie en el país y se ubica en un área de alta producción maderable (CONAFOR, 2024), en la que se realizan actividades antrópicas frecuentes para mantener la productividad de este recurso (Prieto-Ruíz y Goche-Télles, 2016).

Cabe señalar que, en el PPLL, posterior a las pérdidas considerables de superficie en 2016, en el 2024 el bosque de coníferas alcanzó la máxima recuperación con 109.17 ha. Esto se puede asociar a la dispersión anemófila de las coníferas que habitan la zona, lo que les permite establecerse en espacios abiertos o zonas perturbadas (Quamar *et al*., 2024), a diferencia de los encinos, propios de etapas sucesionales *más avanzada*s (Choung *et al*., 2024).

Dinámica de los cambios de cobertura

La reducción en la tasa de cambio del pastizal inducido y la agricultura en el APFFCM puede considerarse benéfica para el ecosistema. Debido a que puede favorecer el establecimiento de una mayor variedad de especies de la zona, así como la preservación de las comunidades forestales para mantener el equilibrio ecológico mediante las estrategias de conservación implementadas dentro del ANP (Dennis-Pacheco *et al*., 2023).

La recuperación de bosques en el APRNQSB, posterior a su decreto en el 2008, sigue la tendencia de *áreas protegidas de México, en las que se refiere una relación positiva en* el aumento de cobertura con el tiempo posterior a su conservación oficial (Osorio-Olvera *et al*., 2023). Este incremento de cobertura vegetal aumenta la garantía de provisión de nichos y hábitats, para promover el desarrollo de los distintos organismos en la zona (Brumberg *et al*., 2024).

Los cambios abruptos en el PPLL en 2016 y 2024 pueden relacionarse a perturbaciones que modifican los patrones del espacio y tiempo (Sturtevant y Fortin, 2021). Esta localidad, registró una transición de las comunidades dominadas por coníferas a vegetación secundaria compuesta principalmente por pastizales. Dicho patrón de sucesión ecológica es considerado frecuentes, debido al intercambio de poblaciones de dimensiones inferiores y ciclos de vida más cortos, p. ej. líquenes, musgos, gramíneas y herbáceas, a especies de mayor tamaño y longevidad (arbustos y *á*rboles) (Pickett *et al*., 2015). Aunado a ello, existe la problemática que las comunidades con periodos de vida reducidos alcanzan un cambio poblacional más acelerado, lo que las hace más vulnerables al establecimiento de especies invasoras (Poorter *et al*., 2024).

Componentes y causas de cambios del uso de suelo y vegetación

El mayor registro de interés comercial y de reforestación en *P. durangensis* es relacionado a su condición de especie relevante en el sector comercial maderable en México (Soto-Cervantes *et al*., 2023), debido a su calidad natural (Ontiveros-Moreno *et al*., 2024). Además, presenta una amplia distribución en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental (González-Elizondo *et al*., 2012). De forma similar, *P. leiophylla* fue identificado como un elemento frecuente en las encuestas, hecho atribuible a su relevante importancia económica por su madera y resina (Izaguirre-Toriz *et al*., 2024).

Por su parte, la extracción ilegal de *P. strobiformis*, aunada a los reportes de incendios y talas clandestinas en el PPLL, puede atribuirse a la presencia de grupos criminales en la zona que modifican los ecosistemas con el objetivo de obtener material maderable (SEMARNAT, 2024). Estas perturbaciones afectan los ecosistemas, y propician el mercado negro al introducir madera ilegal en las industrias, del mismo modo, puede obligar a los administradores de los bosques a abandonar sus tierras (Torres-Rojo, 2021).

La presencia de grupos delictivos y actividades ilícitas puede ocasionar el desplazamiento poblacional a causa de la inseguridad (Lazos-Chavero *et al*., 2021); al reducir las actividades antrópicas por el abandono de tierras, se promueve el cambio de uso de suelo ya que carecen de manejo (Alanís-Rodríguez *et al*., 2023). El análisis de imágenes satelitales ha demostrado que este factor genera variaciones en la cobertura a través del tiempo (Xu *et al*., 2023); principalmente, las áreas agrícolas y de pastizales transicionan a vegetación secundaria (Bonilla-Moheno y Aide, 2019;). Sin embargo, la capacidad de conversión depende de la presencia

de parches forestales (Pedersen *et al*., 2025), condiciones ambientales, así como de la intensidad y prolongación de las prácticas antrópicas realizadas en cada sitio (Hordijk *et al*., 2024).

Las alteraciones en esta localidad son representativas del municipio, al presentar una extensión forestal superior a 269 000 ha; no obstante, el 27.82 % es considerada vegetación secundaria (CONAFOR, 2014). Los géneros dominantes son *Pinus* y *Quercus*, sin embargo, las perturbaciones en esta área han generado una transición a chaparrales, lo que representa una reducción en la biomasa y cobertura vegetal (Quiñónez-Martínez *et al*., 2008).

Respecto a las ANP, aunque presentaron tendencias similares en sus cambios de cobertura, el APFFCM registró escasas estrategias de conservación, mismas que comenzaron cercanas al 2016, a causa de su decreto oficial. Los valores uniformes en el área protegida federal pueden relacionarse con su máxima altitud a nivel estatal, debido a que en los sistemas montañosos de Norteamérica las actividades antrópicas disminuyen conforme incrementa la altitud (Elsen *et al*., 2020).

Otro factor relevante es la ubicación de esta ANP, ya que se localiza al sur del estado y el mayor centro urbano, Ciudad Juárez, se ubica al norte, seguido de Chihuahua, Cuauhtémoc y Delicias, que se encuentran en la región central. Este factor reduce el riesgo de alteraciones ocasionadas por el ser humano al encontrarse alejada de los mayores centros poblacionales, que propician la fragmentación del hábitat (Simkin *et al*., 2022).

Los cuestionarios en el APRNQSB revelan actividades de conservación antes de ser declarada ANP estatal, lo que refleja un interés de preservar esta localidad por su importancia ecológica. Por ejemplo, el senderismo que se lleva a cabo en la localidad, y emplea uno de los tipos de infraestructura clave en zonas protegidas (Farías-Torbidoni *et al*., 2023); para reducir el impacto ambiental y permitir actividades de esparcimiento que mejoran la salud del ser humano (Marion, 2023). Aunado a ello, las actividades de reforestación empleadas pueden favorecer el incremento de carbono almacenado y biodiversidad, así como potencializar el rendimiento de las actividades socioeconómicas (Di Sacco *et al*., 2021).

CONCLUSIONES

Los valores muestran que un área sin estatus oficial de conservación puede presentar de forma significativa pérdida en sus tipos de vegetación. También, existen otros factores sociales, ambientales, económicos e incluso de seguridad, que influyen en la preservación o degradación de cada localidad. Tal como sucedió con el predio particular; al carecer de estrategias de conservación y personal capacitado, sufrió de fuertes impactos antrópicos que alteraron la dinámica sucesional.

Es importante destacar que, si bien dentro de las áreas protegidas se alcanzaron valores uniformes en sus dinámicas de cobertura, en el caso del ANP federal se atribuye a sus condiciones topográficas y geográficas; ya que al ser la zona de mayor altitud y alejada de los mayores centros poblaciones, se mantiene en un mayor control de obras antrópicas. Respecto a los valores homogéneos del ANP estatal, se atribuyen a las actividades constantes de conservación que han preservado a la localidad en un relativo equilibrio ecológico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada al primer autor para realizar sus estudios del Doctorado en Ciencias con Orientación en Manejo de Recursos Naturales en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Del mismo modo, se agradece a los revisores por sus comentarios y sugerencias que permitieron mejorar la calidad del escrito.

REFERENCIAS

Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Salud en Tabasco*, *11*(1-2), 333-338.

Alanís-Rodríguez, E., Martínez-Adriano, C. A., Sanchez-Castillo, L., Rubio-Camacho, E. A., y Valdecantos, A. (2023). Land abandonment as driver of woody vegetation dynamics in Tamaulipan thornscrub at Northeastern Mexico. *PeerJ*, *11*, e15438. https://doi.org/10.7717/peerj.15438

Alfaro-Reyna, T., Martínez-Vilalta, J., y Retana, J. (2019). Regeneration patterns in Mexican pine-oak forests. *Forest Ecosystems*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s40663-019-0209-8

Angel, S. (2023). Urban expansion: theory, evidence and practice. *Buildings And Cities*, *4*(1), 124-138. https://doi.org/10.5334/bc.348

Baig, M. F., Mustafa, M. R. U., Baig, I., Takaijudin, H. B., y Zeshan, M. T. (2022). Assessment of land use land cover changes and future predictions using CA-ANN simulation for Selangor, Malaysia. *Water*, *14*(3), 402. https://doi.org/10.3390/w14030402

Bonilla-Moheno, M. y Aide, T. M. (2019). Beyond deforestation: Land cover transitions in Mexico. *Agricultural Systems*, *178*, 102734. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102734

Bousfield, C. G., Lindenmayer, D. B., y Edwards, D. P. (2023). Substantial and increasing global losses of timber-producing forest due to wildfires. *Nature Geoscience*, *16*(12), 1145-1150. https://doi.org/10.1038/s41561-023-01323-y

Brumberg, H., Furey, S., Bouffard, M. G., Quirós, M. J. M., Murayama, H., Neyestani, S., Pauline, E., Whitworth, A., y Madden, M. (2024). Increasing Forest Cover and Connectivity Both Inside and Outside of Protected Areas in Southwestern Costa Rica. *Remote Sensing*, *16*(6), 1088. https://doi.org/10.3390/rs16061088

Cansler, C. A., Wright, M. C., Van Mantgem, P. J., Shearman, T. M., Varner, J. M., y Hood, S. M. (2024). Drought before fire increases tree mortality after fire. *Ecosphere*, *15*(12), e70083. https://doi.org/10.1002/ecs2.70083

Castruita-Esparza, L. U., Gutiérrez, M., Olivas-García, J. M., y Rubio-Arias, H. O. (2023). The pine-Oak Forest of the Rio Conchos basin, Mexico: Key to rain production and soil erosion control. *Environments*, *10*(3), 37. https://doi.org/10.3390/environments10030037

Choung, Y., Lee, J., Cho, S., y Noh, J. (2020). Review on the succession process of Pinus densiflora forests in South Korea: progressive and disturbance-driven succession. *Journal Of Ecology And Environment*, *44*(1). https://doi.org/10.1186/s41610-020-00157-8

Chughtai, A. H., Abbasi, H., y Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications Society and Environment*, *22*, 100482. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2017). *Programa de manejo: Área de protección de flora y fauna Cerro Mohinora*. https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=183

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2024). *Estado que guarda el sector forestal en México 2023*. Comisión Nacional Forestal. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/947878/2024_07_31_EGSFM_2023.pdf

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, *6*(64), 3172. https://doi.org/10.21105/joss.03172

De la Fuente, B., Bertzky, B., Delli, G., Mandrici, A., Conti, M., Florczyk, A. J., Freire, S., Schiavina, M., Bastin, L., y Dubois, G. (2020). Built-up areas within and around protected areas: Global patterns and 40-year trends. *Global Ecology And Conservation*, *24*, e01291. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01291

Dennis-Pacheco, S., Romo-León, J. R., Castellanos-Villegas, A. E., Peñalba-Garmendia, M. C., y Cornejo-Denman, L. A. (2023). Composición de la vegetación tras el establecimiento de un área natural protegida en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *94*, e945182. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.5182

Di Sacco, A., Hardwick, K. A., Blakesley, D., Brancalion, P. H. S., Breman, E., Rebola, L. C., Chomba, S., Dixon, K., Elliott, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., Smith, R. J., y Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, *27*(7), 1328-1348. https://doi.org/10.1111/gcb.15498

Elsen, P. R., Monahan, W. B., y Merenlender, A. M. (2020). Topography and human pressure in mountain ranges alter expected species responses to climate change. *Nature Communications*, *11*(1). https://doi.org/10.1038/s41467-020-15881-x

Farías-Torbidoni, E. I., Rossi, S. D., y Pickering, C. M. (2023). Visitation patterns in a peri-urban natural park: Comparing mountain bikers, runners, walkers and hikers. *Journal Of Outdoor Recreation And Tourism*, *44*, 100686. https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100686

Food and Agriculture Organization of the United Nations, y United Nations Environment Programme. (2020). *Forests, biodiversity and people: The state of the world's forests 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://doi.org/10.4060/ca8642en

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana* (5ª ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Gao, Z., Zeng, H., Zhang, X., Wu, H., Zhang, R., Sun, Y., Du, Q., Zhao, Z., Li, Z., Zhao, F., y Liu, L. (2024). Comparison of three machine learning algorithms using Google earth engine for land use land cover classification. *Rangeland Ecology y Management*, *92*, 129–137. https://doi.org/10.1016/j.rama.2023.10.007

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J. A., Ruacho-González, L., y *López-Enríquez*, I. L. (2012). Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: una síntesis. *Acta Botanica Mexicana*, *100*, 351-403. https://doi.org/10.21829/abm100.2012.40

Gordon, C. E., Bendall, E. R., Stares, M. G., Collins, L., y Bradstock, R. A. (2018). Aboveground carbon sequestration in dry temperate forests varies with climate not fire regime. *Global Change Biology*, *24*(9), 4280–4292. https://doi.org/10.1111/gcb.14308

Hastie, T., Tibshirani, R., y Friedman, J. H. (2009). The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction (2ª. ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7

Hernández-Hernández, L., Almaguer-Sierra, P., Barrientos-Lozano, L., Sánchez-Reyes, U. J., Rocha-Sánchez, A. Y., y Flores-Gracia, J. (2023). Patterns of Change and Successional Transition in a 47-Year Period (1973–2020) in Rangelands of the Tamaulipan Highlands, Northeastern Mexico. *Forests*, *14*(4), 815. https://doi.org/10.3390/f14040815

Hordijk, I., Poorter, L., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., Mendoza, R. D. L., Romero, P. J., Van Der Sande, M., Muñoz, R., Jansma, R., Fujisawa, N., y Meave, J. A. (2024). Land use legacies affect early tropical forest succession in Mexico. *Applied Vegetation Science*, *27*(2). https://doi.org/10.1111/avsc.12784

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *Continuo de elevaciones mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Mapa digital de México: Conjunto de datos edafológicos*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/default.html#Mapa

Izaguirre-Toriz, V., Aguirre-Liguori, J. A., Latorre-Cárdenas, M. C., Arima, E. Y., y González-Rodríguez, A. (2024). Local adaptation of Pinus leiophylla under climate and land use change models in the Avocado Belt of Michoacán. *Molecular Ecology*, *33*(13), e17424. https://doi.org/10.1111/mec.17424

Kim, J. E., Wang, J. A., Li, Y., Czimczik, C. I. y Randerson, J. T. (2024). Wildfire-induced increases in photosynthesis in boreal forest ecosystems of North America. *Global Change Biology*, *30*(1), e17151. https://doi.org/10.1111/gcb.17151

Lazos-Chavero, E., Meli, P., y Bonfil, C. (2021). Vulnerabilities and Threats to Natural Forest Regrowth: Land Tenure Reform, Land Markets, Pasturelands, Plantations, and Urbanization in Indigenous Communities in Mexico. *Land*, *10*(12), 1340. https://doi.org/10.3390/land10121340

Lillesand, T. M., y Kiefer, R. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.

Marion, J. L. (2023). Trail sustainability: A state-of-knowledge review of trail impacts, influential factors, sustainability ratings, and planning and management guidance. *Journa of Environmental Management*, *340*, 117868. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117868

Ontiveros-Moreno, Y., Colín-Urieta, S., Carrillo-Parra, A., López-Camacho, E. B., Corral-Rivas, J. J., Hernández-Díaz, J. C., y Prieto-Ruíz, J. Á. (2024). Durabilidad natural de la madera de seis especies de importancia comercial en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *15*(84), 132–154. https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i84.1453

Opedes, H., Mücher, S., Baartman, J. E. M., Nedala, S., y Mugagga, F. (2022). Land cover change detection and subsistence farming dynamics in the fringes of Mount Elgon National Park, Uganda from 1978–2020. *Remote Sensing*, *14*(10), 2423. https://doi.org/10.3390/rs14102423

Osorio-Olvera, L., Rioja-Nieto, R., Torres-Irineo, E., y Guerra-Martínez, F. (2023). Natural Protected Areas effect on the cover change rate of mangrove forests in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Wetlands*, *43*(5). https://doi.org/10.1007/s13157-023-01697-0

Pascual-Hernández, S., Monterroso-Rivas, A. I., Mohedano-Caballero, L., Romo-Lozano, J. L., y Cabrera-Delgado, J. M. (2024). Dinámica de cambios en el uso de suelo y vegetación en la zona protectora forestal de los ríos del sur de Querétaro (1997-2016). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *30*(3), 1–17. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2023.02.007

Pedersen, N., Kepfer-Rojas, S., Riis-Nielsen, T., Johannsen, V., y Schmidt, I. (2025). Natural colonization in abandoned agricultural fields benefits native, insect-pollinated and bird-dispersed woody species. *Trees Forests And People*, *19*, 100755. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100755

Periódico Oficial del Estado de Durango. (2008). *Decreto No. 50: Decreto que declara la Quebrada de Santa Bárbara como Área de Protección de Recursos Naturales*. Periódico Oficial del Estado de Durango, (50), 3–9. https://periodico.durango.gob.mx/archivo.pdf

Pickett, S., Cadenasso, M., y Meiners, S. (2009). Ever since Clements: from succession to vegetation dynamics and understanding to intervention*. *Applied Vegetation Science*, *12*(1), 9-21. https://doi.org/10.1111/j.1654-109x.2009.01019.x

Poorter, L., Van Der Sande, M. T., Amissah, L., Bongers, F., Hordijk, I., Kok, J., Laurance, S. G. W., Martínez-Ramos, M., Matsuo, T., Meave, J. A., Muñoz, R., Peña-Claros, M., Van Breugel, M., Herault, B., Jakovac, C. C., Lebrija-Trejos, E., Norden, N., y Lohbeck, M. (2024). A comprehensive framework for vegetation succession. *Ecosphere*, *15*(4). https://doi.org/10.1002/ecs2.4794

Prieto-Ruíz, J. A., y Goche-Télles, J. R. (2016). *La reforestación en México: Problemática y alternativas de solución*. Universidad Juárez del Estado de Durango.

Pulido-Chadid, K., Virtanen, E., y Geldmann, J. (2023). How effective are protected areas for reducing threats to biodiversity? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, *12*(1), 18. https://doi.org/10.1186/s13750-023-00311-4

Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, *177*(1–3), 593–596. https://doi.org/10.1016/s0378-1127(02)00335-3

QGIS Development Team. (2023). QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. https://qgis.org

Quamar, M. F., Mishra, A. K., Mohanty, R. B., y Kar, R., (2024). Implications of Pinus L. pollen abundance for reconstructing the Holocene palaeoclimate from the Himalayas, India. *Review Of Palaeobotany And Palynology*, *326*, 105130. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2024.105130

Quiñónez-Martínez, M., Lebgue-Keleng, T., Corral-Díaz, R., Lavín-Murcio, P., De la Mora-Covarrubias, A., y Sosa-Cerecedo, M. (2008). Diversidad de la vegetación en cuatro comunidades forestales con grado de disturbio en el municipio de Bocoyna, Chihuahua. *Revista de Ciencia y Tecnología de la UACJ*, *6*, 141–147.

Rentería-Arrieta, L. I., y Montiel-Antuna, E. (2017). Áreas naturales protegidas. En: La biodiversidad en Durango. Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Ciudad de México, México. 129-171 Pp.

Ruacho-González, L., Corral-Rivas, J. J., González-Gallegos, J. G., González-Elizondo, M. S., López-Serrano, P. M., y Briseño-Reyes, J. (2025). Diversity hotspots and vulnerability of pine species in the Sierra Madre Occidental, western Mexico. *Ecology and Evolution*, *15*(7), e71743. https://doi.org/10.1002/ece3.71743

Sandoval-García, R., Rascón-Solano, J., Alanís-Rodríguez, E., García-García, S. A., Sigala, J. A., y Aguirre-Calderón, O. A. (2024). Multitemporal Analysis of Land Cover Changes in Areas with Contrasted Forest Management and Conservation Policies in Northern Mexico. *Sustainability*, *16*(17), 7866. https://doi.org/10.3390/su16177866

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la 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, publicada el 30 de diciembre de 2010*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5578808

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). *Programa Nacional Forestal 2020–2024: Avance y resultados, enero 2023–junio 2024. Programa derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019–2024*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conafor/documentos/avance-y-resultados-enero-2023-junio-2024

Shen, Y., Wei, Y., Zhang, H., Rui, X., Li, B., y Wang, J. (2024). Unsupervised change detection in HR remote sensing imagery based on local histogram similarity and progressive Otsu. *Remote Sensing*, *16*(8) 1357. https://doi.org/10.3390/rs16081357

Sim, J., y Wright, C. C. (2005). The kappa statistic in reliability studies: Use, interpretation, and sample size requirements. *Physical Therapy*, *85*(3), 257–268.

Simkin, R. D., Seto, K. C., McDonald, R. I., y Jetz, W. (2022). Biodiversity impacts and conservation implications of urban land expansion projected to 2050. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, *119*(12). https://doi.org/10.1073/pnas.2117297119

Soto-Cervantes, J. A., Corral-Rivas, J. J., Domínguez-Calleros, P. A., López-Serrano, P. M., Montiel-Antuna, E., García-Montiel, E., y *Pérez-Luna*, A. (2023). Comparison of carbon content between plantation and natural regeneration seedlings in Durango, Mexico. *PeerJ*, *11*, e14774. https://doi.org/10.7717/peerj.14774

Sosa-Díaz, L., Valdez-Lazalde, J. R., *Ángeles-Pérez,* G., De los Santos-Posadas, H. M., y López-Mata, L. (2024). Áreas de riqueza y centros probables de diversificación de Pinus en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *95*, e955297. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2024.95.5297

Stone, J., Advento, A. D., Pashkevich, M. D., Aryawan, A. A. K., Caliman, J.-P., Hood, A. S. C., Foster, W. A., Naim, M., Pujianto, P., Purnomo, D., Suhardi, S., Tarigan, R. S., Rambe, T. D. S., Widodo, R. H., Luke, S. H., Snaddon, J. L., y Turner, E. C. (2023).

Maintaining understory vegetation in oil palm plantations supports higher assassin bug numbers. *Ecological Solutions And Evidence*, *4*(4) e12293. https://doi.org/10.1002/2688-8319.12293

Sturtevant, B. R., y Fortin, M. (2021). Understanding and Modeling Forest Disturbance Interactions at the Landscape Level. *Frontiers In Ecology And Evolution*, *9,* 653647. https://doi.org/10.3389/fevo.2021.653647

Svoboda, J., *Štych*, P., Laštovička, J., Paluba, D., y Kobliuk, N. (2022). Random Forest Classification of Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF) Using Sentinel-2 Data—A Case Study of Czechia. *Remote Sensing*, *14*(5), 1189. https://doi.org/10.3390/rs14051189

Tefera, E. B., Alemu, T., Gemeda, D. O., y Gutema, T. M. (2025). Drivers of land use and land cover change and their association with bird distribution patterns in southwestern Ethiopia. *Anthropocene*, *52*, 100505. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2025.100505

Tilman, D., Clark, M., Williams, D. R., Kimmel, K., Polasky, S., y Packer, C. (2017). Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, *546*(7656), 73-81. https://doi.org/10.1038/nature22900

Torres-Rojo, J. M. (2021). Illegal Logging and the Productivity Trap of Timber Production in Mexico. *Forests*, *12*(7), 838. https://doi.org/10.3390/f12070838

Valencia A., S. (2004). Diversidad del género Quercus (Fagaceae) en México. *Botanical Sciences*, *75*, 33–53. https://doi.org/10.17129/botsci.1692

Vancutsem, C., Achard, F., Pekel, J., Vieilledent, G., Carboni, S., Simonetti, D., Gallego, J., Aragão, L. E. O. C., y Nasi, R. (2021). Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. *Science Advances*, *7*(10). https://doi.org/10.1126/sciadv.abe1603

Wang, Q., Xiong, K., Zhou, J., Xiao, H., y Song, S. (2023). Impact of land use and land cover change on the landscape pattern and service value of the village ecosystem in the karst desertification control. *Frontiers in Environmental Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1020331

Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., y Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, *12*(1), 2501. https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2

Xu, S., Xiao, W. Yu, C., Chen, H., y Tan, Y. (2023). Mapping Cropland Abandonment in Mountainous Areas in China Using the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing*, *15*(4), 1145. https://doi.org/10.3390/rs15041145

Zhao, Z., Islam, F., Waseem, L. A., Tariq, A., Nawaz, M., Islam, I. U., Bibi, T., Rehman, N. U., Ahmad, W., Aslam, R. W., Raza, D., y Hatamleh, W. A. (2024). Comparison of three machine learning algorithms using Google earth engine for land use land cover classification. *Rangeland Ecology y Management*, *92*, 129–137. https://doi.org/10.1016/j.rama.2023.10.007

ANEXO

Anexo 1. Cuestionario aplicado a las personas que habitan y trabajan en el Área de Protección de Flora y Fauna Cerro Mohinora, Área de Protección de los Recursos Naturales Quebrada de Santa Bárbara y el Predio particular La Laja.

Aspectos socioeconómicos				
Nombre del encuestado:				Edad:
Sexo:	F ○	M ○		Lugar de residencia:
Sector en el que desarrolla sus actividades				
Forestal ○				
Especies que aprovechan: Método silvícola que emplean: Especies que utilizan para reforestar: Desde qué año realiza aprovechamiento:				
Conservación de recursos naturales ○				
Estrategias de conservación, restauración y prevención que realiza: En qué año comenzó estas actividades:				
Agrícola ○				
Cultivos agrícolas que siembran:				
Ganadero ○				
Alimentación principal para el ganado: Otro sector: Recursos del bosque que emplean para uso doméstico: Desde cuándo emplean estos recursos: Actividades perjudiciales que ha presenciado en la localidad				
Incendios forestales	○			Año:
Talas clandestinas	○			Año:
Contaminación de cuerpos de agua/ suelo	○			Año:
Uso de vehículos terrestres fuera de caminos	○			Año:
Caza furtiva	○			Año:
Turismo no regulado	○			Año: