

Procesos locales de transformación que detonan el cambio de uso de suelo y vegetación en un área natural protegida de la Región Centro de México

Local transformation processes that detonate the change of land and vegetation use in a protected natural area of the Central Mexico Region

Daniel Villegas Martínez¹, William Gómez Demetrio^{2*}

¹Doctorado en Ciencias Ambientales, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México. <https://orcid.org/0000-0002-3970-9987>

^{2*}Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus "El Cerillo Piedras Blancas" Toluca, Estado de México, México. CP. 50295. Teléfono 7222965552 ext. 115. <https://orcid.org/0000-0002-7820-1967>

*Autor de correspondencia.

Resumen

Los procesos de cambio de uso de suelo y vegetación en México son un fenómeno provocado por la expansión de actividades antrópicas. Ante esta y otras problemáticas, la generación de estrategias mediante el decreto de áreas naturales protegidas busca proteger la integridad de ecosistemas representativos. Sin embargo, la carente instrumentación de políticas de manejo en estos espacios geográficos hace evidente su deterioro socioambiental. Bajo este preámbulo, el objetivo de esta investigación fue identificar, ubicar y analizar espacialmente los procesos de transformación que inciden de manera directa en los cambios de uso de suelo y vegetación dentro del territorio administrativo del Parque Otomí-Mexica del Estado de México. Mediante la generación de coberturas de uso de suelo y vegetación de los años 1993 y 2018, aplicación de métodos de sobreposición, técnicas de fotointerpretación y trabajo de campo se determina que los cambios de uso de suelo y vegetación son generados por procesos de conversión, modificación y fragmentación.

Palabras clave: Ecosistemas; deterioro; integridad y territorio.

Abstract

The processes of change of land and vegetation use in Mexico are a phenomenon caused by the expansion of anthropic activities. Given this and other problems, the generation of strategies through the decree of protected natural areas seeks to protect the integrity of representative ecosystems. Nevertheless, the lack of implementation of management policies in these geographical spaces makes evident their socio-environmental deterioration. Under this preamble, the objective of this research was to identify, locate and spatially analyze the transformation processes that directly affect the changes in land and vegetation use within the administrative territory of the Otomi-Mexica Park in the State of Mexico. Through the generation of land and vegetation use coverings of the years 1993 and 2018, application of overlay methods, photointerpretation techniques and field work, it is determined that changes in land and vegetation use are generated by conversion processes, modification and fragmentation.

Keywords: Ecosystems; deterioration; integrity and territory.

Recibido: 16 de marzo de 2020

Aceptado: 20 de julio de 2020

Publicado: 16 de septiembre de 2020

Como citar: Villegas Martínez, D., & Gómez Demetrio, W. (2020). Procesos locales de transformación que detonan el cambio de uso de suelo y vegetación en un área natural protegida de la Región Centro de México. *Acta Universitaria* 30, e2864. doi. <http://doi.org/10.15174/au.2020.2864>

Introducción

A nivel mundial, una de las principales preocupaciones de los gobiernos, organizaciones no gubernamentales e instituciones de educación e investigación está relacionada estrechamente con la degradación y pérdida de biodiversidad del planeta. Según la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), los principales factores que impactan de forma directa a la biodiversidad del territorio mexicano son los procesos de cambios de uso de suelo y vegetación (Conabio, 2006).

De acuerdo con las últimas evaluaciones de la Conabio, se estima que el territorio mexicano ha perdido alrededor del 50% de sus ecosistemas naturales, lo cual ha afectado principalmente a selvas húmedas y secas, bosques templados, pastizales y manglares. Estas pérdidas están asociadas directamente al cambio de uso de suelo provocado por el desarrollo de actividades antrópicas como la agricultura, la ganadería, el establecimiento y crecimiento de zonas habitacionales, industriales y turísticas (Camacho, Camacho, Balderas & Sánchez, 2017; Conabio, 2006; Juan, 2017).

Una de las estrategias que los gobiernos han determinado para proteger la estructura natural de los ecosistemas en México es el decreto de áreas naturales protegidas (ANP), que se definen como espacios geográficos delimitados administrativamente para mantener la representatividad de los ecosistemas de México y su biodiversidad, asegurando con ello la provisión de servicios ambientales mediante su conservación y manejo sustentable (Conanp, 2017).

Actualmente, en México existen 182 ANP administradas por la federación, las cuales cubren cerca de 90 millones de hectáreas (ha) del territorio mexicano. En el Estado de México se tienen registradas 92 ANP en el Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas, estas ocupan una superficie aproximada de 987 497.19 ha, que representa el 43.91% del territorio mexiquense (Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna [Cepanaf], 2019; Conanp, 2017).

Sin embargo, pese a la protección que actualmente tiene el territorio administrativo del Estado de México, las coberturas de uso de suelo y vegetación que lo conforman tienden a presentar cambios en su estructura natural. Los bosques de coníferas, latifoliados, mesófilo de montaña y mixtos son los ecosistemas que presentan mayores pérdidas en cuanto a su extensión territorial, generando con ello degradación y reducción de la biodiversidad local. El análisis geoestadístico realizado por Pineda, Bosque, Gómez & Plata (2009) determina que los ecosistemas mencionados previamente tuvieron una pérdida de 13 691 ha dentro del territorio mexiquense, de las cuales 40% se encuentran ubicadas en áreas bajo protección ambiental; estas pérdidas se asocian principalmente a procesos de deforestación.

Autores como Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández (2018), Juan (2017), Camacho *et al.* (2017) y López, Balderas, Chávez, Juan & Gutiérrez (2015) han impulsado las investigaciones científicas sobre el análisis de cambio de uso del suelo y vegetación desde una dimensión temporal y espacial, empleando métodos y técnicas geoespaciales. Entre sus resultados determinan que los bosques templados son los ambientes que mayores modificaciones han presentado durante las últimas tres décadas.

A partir de esta problemática, uno de los territorios bajo protección ambiental que se ha visto afectado por el constante crecimiento de las actividades antrópicas de la Región Centro de México es el territorio administrativo del Parque Otomí-Mexica del Estado de México, área geográfica que por su importancia ecosistémica ha sido estudiada por Villegas, Gutiérrez, Gómez & Espinosa (2019), Villegas, Gutiérrez, Espinosa & Makowski (2018) y Juan (2017). Sin embargo, hasta el momento no existen estudios de carácter científico que analicen los procesos de transformación que detonan el cambio de uso de suelo y vegetación dentro de su área administrativa.

Bajo esta problemática territorial y la falta de estudios sobre la temática desarrollada, la presente investigación tuvo por objetivo principal analizar espacialmente los procesos de transformación que inciden de manera directa en los cambios de uso de suelo y vegetación dentro del territorio administrativo del Parque Otomí-Mexica del Estado de México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El nombre oficial del territorio de estudio es Área Natural Protegida, Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala-La Bufa, denominado Parque Otomí Mexica del Estado de México. Tiene una extensión aproximada de 105 875 has, distribuidas en 17 municipios del Estado de México, Chapa de Mota, Huixquilucan, Isidro Fabela, Jilotzingo, Jiquipilco, Lerma, Naucalpan, Nicolás Romero, Ocoyoacac, Ocuilán, Otzolotepec, Morelos, Temoaya, Tianguistenco, Villa del Carbón, Xalatlaco y Xonacatlán. Sus coordenadas geográficas extremas son: 18° 59' 59.57" - 19° 45' 19.34" N y 99° 20' 21.75" - 99° 32' 01.41" O (figura 1) (Gobierno del Estado de México [GEM], 1980; Villegas et al., 2018).

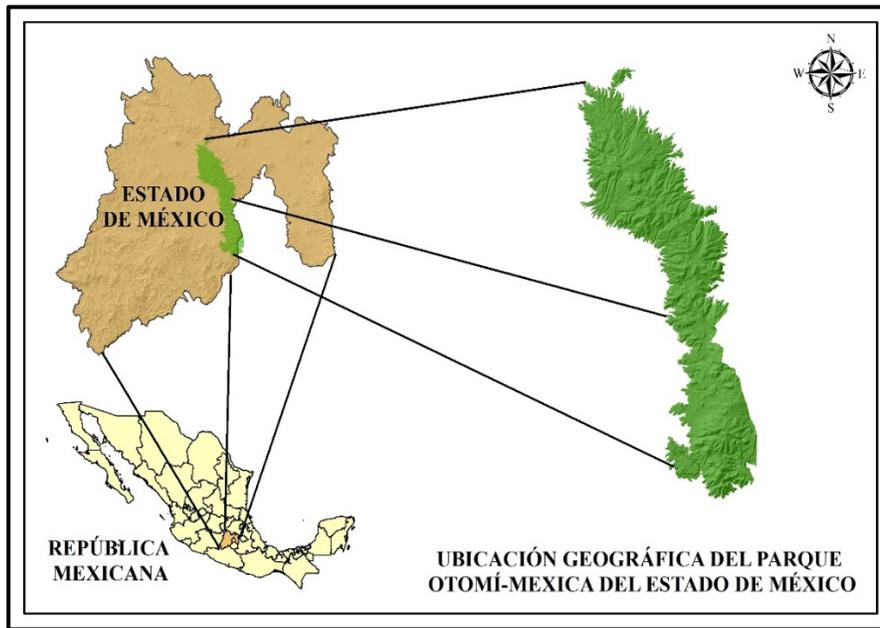


Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Otomí-Mexica del Estado de México.
Fuente: Elaboración propia.

Insumos geoespaciales

Se utilizaron dos imágenes de satélite multispectrales; la primera fue una imagen *Spot 2* de 1993 y la segunda una *SENTINEL 3* del año 2018. La imagen *Spot* fue proporcionada por el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM) y la imagen *SENTINEL* fue descargada de manera gratuita de la plataforma *Copernicus Open Access Hub*. También se utilizaron

cartas temáticas de uso del suelo y vegetación de la Serie I de 1993¹ y de la Serie VI de 2016² del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (tabla 1). Los *software* utilizados fueron *ER Mapper*TM, *ArcGis 10.5*TM e *IDRISI Selva*TM, además fue necesario utilizar un navegador satelital marca Garmin modelo *eTrex Touch 35*TM, una cámara fotográfica marca Sony modelo *DSC-H300*TM y una bitácora de campo.

Tabla 1. Insumos geoespaciales.

Cantidad	Insumo	Escala	Resolución	Proyección	Año	Fuente
1	Imagen <i>Spot 2</i> multiespectral	No aplica	20 m	UTM, WGS 1984	1993	IGECEM
1	Imagen <i>SENTINEL 3</i> multiespectral	No aplica	10 m	UTM, WGS 1984	2018	<i>Copernicus Open Access Hub</i>
1	Carta de uso del suelo y vegetación Serie I	1:250 000	No aplica	UTM, WGS 1984	1993	INEGI
1	Carta de uso del suelo y vegetación Serie V	1:250 000	No aplica	UTM, WGS 1984	2016	INEGI

Fuente: Elaboración propia.

Elaboración de mapas de uso de suelo y vegetación

Los mapas de uso de suelo y vegetación de los años 1993 y 2018 del área de estudio se obtuvieron mediante el procesamiento digital de imágenes de satélite multiespectrales, las cuales se obtuvieron ortorectificadas, georreferenciadas, con balanceo de color y corrección atmosférica. Ambas imágenes (*SPOT 2* y *SENTINEL 3*) fueron procesadas mediante la composición de infrarrojo, esta combinación de bandas tiene buena sensibilidad de la vegetación verde, la cual aparecerá representada en tonalidades de color rojo.

Para el caso de la imagen *SPOT 2*, la combinación de bandas utilizada fue 3, 2, 1, mientras que para la imagen *SENTINEL 3*, la combinación de bandas fue 8, 4, 3. El proceso digital se realizó en el *software ER-Mapper*TM, mediante el método de clasificación supervisada³, sobre la composición infrarroja de ambas imágenes de satélite.

La clasificación supervisada de ambas imágenes de satélite se verificó directamente en campo, principalmente en áreas donde la clasificación no presentó áreas homogéneas (20 zonas con problemas de clasificación). Algunos de estos puntos son de difícil acceso por la geomorfología del territorio y la tenencia de la tierra, por esta razón se utilizaron los mapas de uso del suelo y vegetación de la Serie I y VI de INEGI, con el fin de confrontar, corregir y homologar la información cartográfica obtenida.

Representación cartográfica y estadística de cambios de uso del suelo y vegetación

Esta fase de la investigación se realizó mediante la aplicación del método de sobreposición cartográfica automatizado en el *software IDRISI Selva*TM mediante su módulo *Land Change Modeler*, el cual consiste en identificar las deferencias espaciales que existen entre las coberturas de uso de suelo y vegetación del periodo de análisis. Los resultados obtenidos en esta etapa fueron una serie de mapas y datos tabulados con información sobre los principales cambios e intercambios entre las coberturas de uso del suelo y vegetación, obtenidas durante la clasificación supervisada.

¹ 'Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie I (continuo nacional)', escala: 1:250000. Instituto Nacional de Ecología - Dirección de Ordenamiento Ecológico General e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Digitalización de las cartas de uso del suelo y vegetación elaboradas por INEGI entre los años 1980-1991 con base en fotografías aéreas de 1968-1986. México, D. F. (INE - INEGI, 1997) Nota: esta fuente no se encuentra en lista de referencias.

² Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Unión), escala: 1:250 000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México (INEGI, 2016) Nota: esta fuente no se encuentra en lista de referencias.

³ Consiste en realizar campos de entrenamiento sobre las distintas coberturas del suelo y con ello obtener sus niveles de reflectancia dentro del espectro electromagnético.

Identificación y ubicación de los principales procesos locales de transformación

La identificación y ubicación espacial de los principales procesos locales de transformación y las actividades que detonan los cambios de uso del suelo y vegetación en el territorio administrativo del Parque Otomí-Mexica del Estado de México se determinaron de acuerdo a la dinámica que existe entre la dimensión ecosistémica del territorio, la cual está constituida, principalmente, por los ambientes naturales del parque y la dimensión sociocultural, integrada por los habitantes de la Región Centro de México, los turistas y el personal administrativo del ANP.

Resultados

Análisis espacial de los cambios de uso del suelo y vegetación dentro del territorio

administrativo del Parque Otomí-Mexica del Estado de México

Derivado de la modelación y representación cartográfica del territorio, se obtuvieron los mapas de uso del suelo y vegetación de los años 1993 y 2018 (figura 2 y 3).

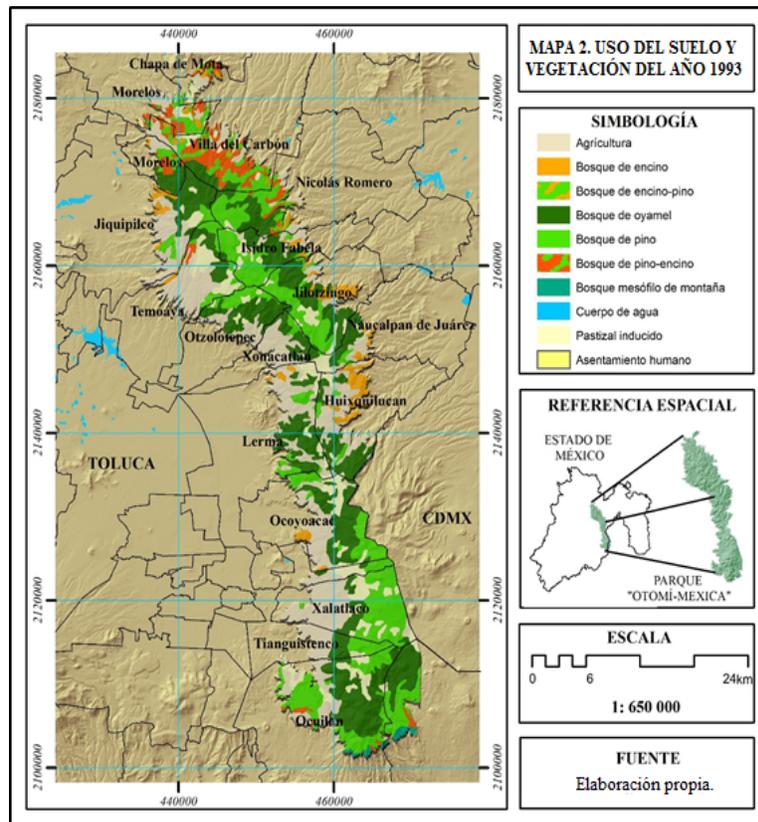


Figura 2. Mapa de uso del suelo y vegetación del año 1993.
Fuente: Elaboración propia con base en imagen de satélite SPOT II y trabajo de campo.

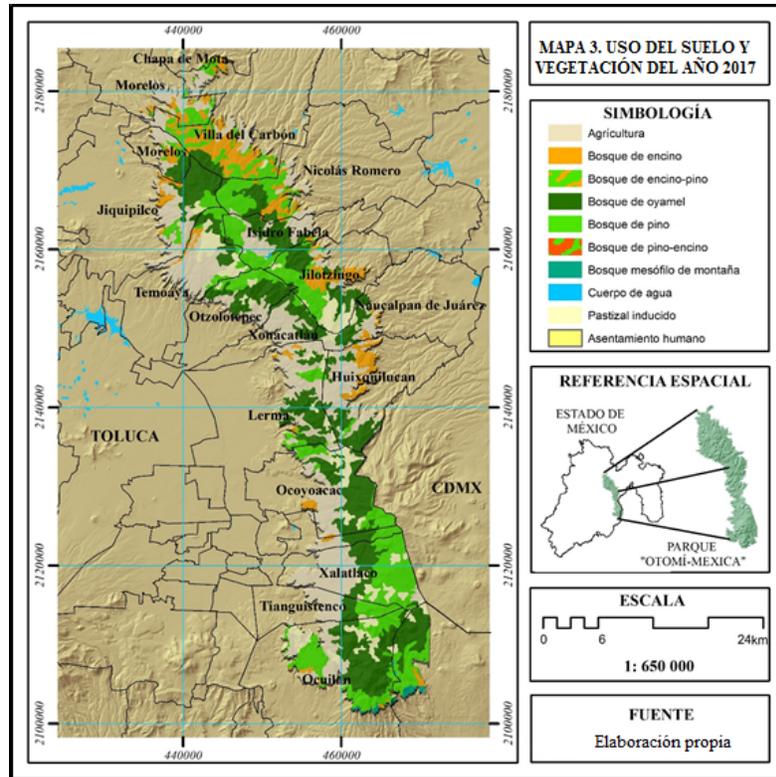


Figura 3. Mapa de uso del suelo y vegetación del año 2017.
Fuente: Elaboración propia con base en imagen de satélite *SENTINEL 3* y trabajo de campo.

Como parte de la información estadística, se obtienen los valores representados en la tabla 2, en la que se observa la superficie terrestre en hectáreas ocupada por cada una de las coberturas de uso de suelo y vegetación para los años 1993 y 2018.

De manera particular, se observa que los bosques de pino, oyamel, encino, pino-encino, encino-pino y mesófilo de montaña son los ecosistemas naturales que cubren más del 60% de la superficie total del parque, esto para ambos años. La cobertura agrícola representa poco más del 30% de la superficie terrestre; por su parte, las coberturas de pastizales, cuerpos de agua y asentamiento humanos representan el 10% del territorio administrativo del ANP.

Tabla 2. Superficie en hectáreas que ocupaban los usos del suelo en los años 1993 y 2018.

Nombre de la cobertura	Superficie en ha (1993)	Superficie en ha (2018)
Agricultura de temporal	27 147	32 081
Bosque de encino	3769	4254
Bosque de encino-pino	2894	3418
Bosque de oyamel	31 741	30 975
Bosque de pino	22 942	20 806
Bosque de pino-encino	6327	5774
Bosque mesófilo de montaña	500	397
Cuerpo de agua	58	58
Pastizal inducido	10 488	8098
Asentamiento humano	8	15
Total	105 875	105 875

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se representa en color rojo las áreas del parque que sufrieron cambios durante el periodo de análisis (1993-2018). De acuerdo con los datos estadísticos, estas porciones del territorio cubren una superficie aproximada de 17 772.31 ha, lo que representa el 17% del territorio. Las porciones terrestres de los municipios Jilotzingo, Xalatlaco, Isidro Fabela, Ocoyoacac y Nicolás Romero son las que mayores cambios presentaron en cuanto a su estructura de uso de suelo y vegetación.

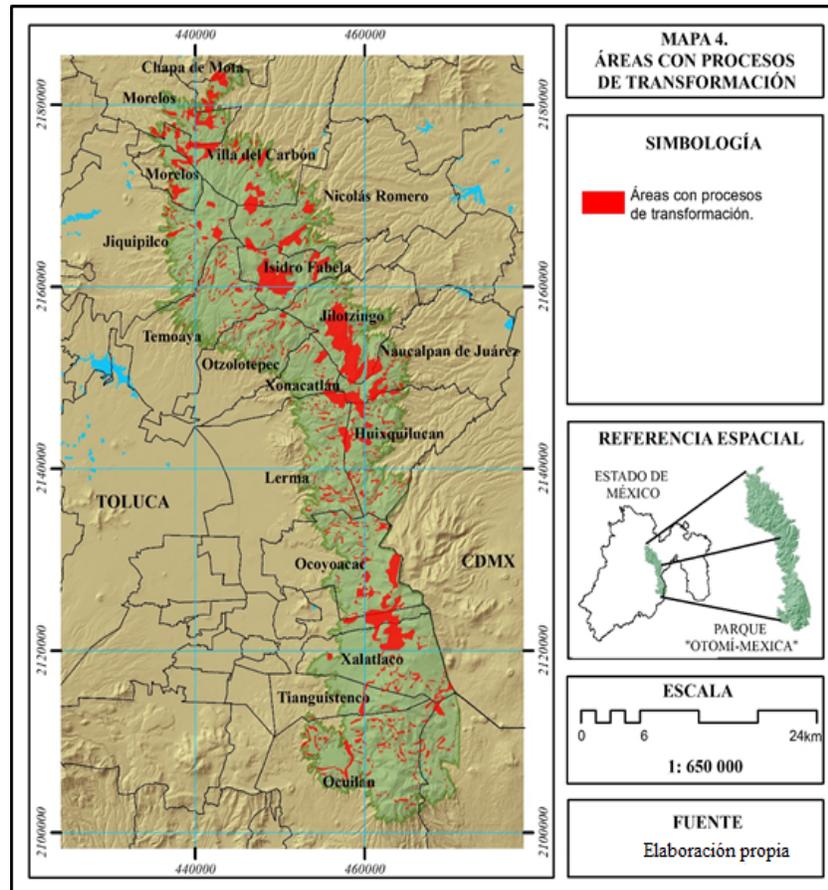


Figura 4. Mapa de áreas con procesos de transformación en el Parque Otomí-Mexica.
Fuente: Elaboración propia.

Los espacios geográficos ocupados por bosques templados son las áreas del parque que presentan mayores cambios en cuanto a su estructura; estas modificaciones están estrechamente vinculadas a los procesos de intercambio⁴ entre coberturas de uso del suelo y vegetación. En la tabla 3 se observa que los principales cambios e intercambios entre coberturas de uso de suelo y vegetación están asociados en mayor proporción a la cobertura de bosque de oyamel, la cual durante el periodo de análisis tuvo una pérdida de 4 528.81 ha, de las cuales 1 733.98 ha fueron ganadas por la cobertura de agricultura y 969.41 ha fueron recuperadas por la cobertura de bosque de encino. Este fenómeno se desarrolla como parte de la regeneración natural de los ecosistemas de latifoliados, y en algunos puntos del territorio por las campañas de reforestación.

⁴ Se refiere a los cambios que presentan las coberturas de uso de suelo y vegetación en cuanto a pérdidas y ganancias.

Tabla 3. Conversión entre coberturas del uso del suelo y vegetación 1993-2017.

Cobertura en 1993	Cobertura actual (2017)	Superficie que cambio
	Bosque de encino	321.42
	Bosque de encino-pino	257.11
Agricultura de temporal (perdió un total de 1770.98 ha).	Bosque de oyamel	770.10
	Bosque de pino	183.44
	Bosque de pino-encino	82.37
	Pastizal inducido	156.54
Bosque de encino (perdió un total de 836.66 ha)	Agricultura de temporal	642.51
	Bosque de encino-pino	194.15
Bosque de encino-pino (perdió un total de 465.03 ha)	Agricultura de temporal	336.58
	Bosque de pino-encino	128.45
Bosque de oyamel (perdió un total de 4528.81 ha)	Agricultura de temporal	1733.98
	Bosque de encino	969.41
	Bosque de pino	831.17
	Pastizal inducido	994.26
Bosque de pino (perdió un total de 4178.52 ha)	Agricultura de temporal	1364.62
	Bosque de oyamel	1303.44
	Bosque de pino-encino	228.15
	Pastizal inducido	1282.31
Bosque de pino-encino (perdió un total de 1133.34 ha)	Agricultura de temporal	775.00
	Bosque de encino-pino	208.03
	Bosque de pino	150.30
Total		12 913.34

Fuente: Elaboración propia.

Los intercambios más significativos que experimentaron los bosques de oyamel obedecen al siguiente patrón de comportamiento. En un primer momento, los espacios ocupados por bosques de oyamel sufren procesos de tala y roza como causa de una conversión a terrenos utilizados para desarrollar actividades agrícolas; posteriormente, cuando estos terrenos dejan de ser económicamente rentables, son abandonados y de manera natural se convierten en pastizales. Un porcentaje de estas áreas se regenera de manera natural principalmente con especies de ecosistemas cercanos, y otra parte es restaurada con base a los programas de reforestación y de pagos por servicios ambientales.

Los datos estadísticos obtenidos durante el proceso de sobreposición cartográfica entre las coberturas de uso de suelo y vegetación se presentan de manera específica en la figura 5. En ella se aprecia que los bosques de coníferas (pino, oyamel, encino, mesófilo de montaña y bosques mixtos) son los ecosistemas naturales que registran mayores pérdidas durante el periodo de análisis. La causa principal de estos cambios se debe a la continua expansión de las áreas agrícolas, principalmente en zonas donde las características topográficas del territorio obedecen a pendientes menores a 14°.

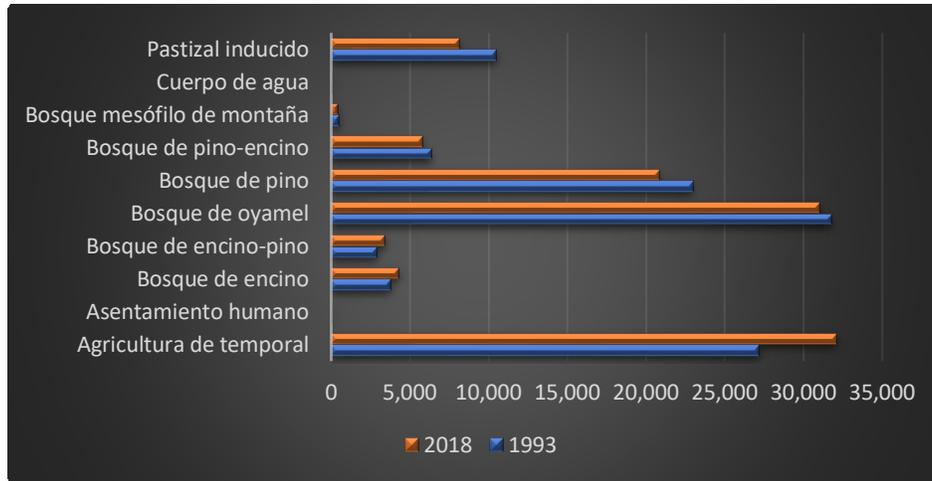


Figura 5. Gráfica de análisis estadístico comparativo de las coberturas de uso de suelo y vegetación de los años 1993-2018.
Fuente: Elaboración propia.

Las áreas cubiertas por bosques de pino registraron una pérdida importante de 4 178.52 ha, de las cuales los ambientes que se beneficiaron con este proceso de pérdida son los bosques de oyamel con 1 303.44 ha y los bosques de pino-encino con 228.15 ha. No obstante, es la agricultura de temporada la cobertura que mayores ganancias registra frente al bosque de pino, con un total de 1 364.62 ha, seguido de la cobertura de pastizal inducido, que tuvo una ganancia neta de 1 282.31 ha.

De acuerdo con los datos obtenidos durante el análisis e interpretación de las imágenes de satélite y de los datos obtenidos directamente en trabajo de campo, los procesos de intercambio entre la cobertura de bosques de pino y las demás coberturas presentes en el territorio se desarrollan de la siguiente manera. En un inicio, el suelo está cubierto por bosques de pino, áreas que posteriormente son deforestadas para ampliar los terrenos utilizados para la agricultura; posteriormente, cuando estos terrenos comienzan a brindar rendimientos bajos de producción de maíz, papa o avena forrajera, principalmente, son abandonados por los agricultores y parte de estas áreas se transforman de manera natural en pastizales y en menor extensión territorial se regeneran de manera natural, dando paso a nuevas áreas de bosque (figura 6).

En general, dentro del territorio administrativo del ANP, es la cobertura agrícola la que mayores niveles presenta en cuanto a su tasa de crecimiento (19%), principalmente en zonas donde la composición geomorfológica del territorio tiende a ser uniforme (semiplano) y las pendientes oscilan entre 0° y 14°, afectando con su expansión territorial, ecosistemas de bosques de coníferas, latifoliados y pastizales, y generando con ello disminución de la cobertura arbórea y el aumento de áreas desprovistas de vegetación local.



Figura 6. Fotografía que muestra los procesos de intercambio entre coberturas de uso de suelo y vegetación.
Fuente: Fotografía de Daniel Villegas Martínez, paraje Agua de Cadena, municipio de Xalatlaco Estado de México.

Análisis espacial de los procesos locales de transformación que detonan el cambio de uso de suelo y vegetación

La interacción entre los componentes de la dimensión ecosistémica y la dimensión sociocultural presentes dentro del territorio administrativo del ANP, e incluso aquellos que se encuentran ubicados en ambientes adyacentes a él, se establecen a partir de la explotación, extracción, manejo y administración de los componentes ecosistémicos, determinando que las actividades que se desarrollan dentro de la dimensión sociocultural modifican continuamente la estructura ambiental del territorio y con ello la disposición de servicios ecosistémicos para los habitantes de la Región Centro de México.

Derivado del análisis sobre las áreas que presentaron procesos de transformación durante el periodo 1993-2018, se realizó una serie de recorridos de campos sistematizados por estas áreas, logrando identificar tres principales procesos locales de transformación que detonan de manera directa el cambio de uso de suelo y vegetación dentro del territorio administrativo del ANP. Estos procesos se pueden observar en la tabla 4 y en la figura 7.

Tabla 4. Proceso de transformación para el cambio de uso del suelo y vegetación.

Proceso de transformación	Actividad	Afectación sobre el entorno natural del ANP
Conversión	Agricultura	Desmonte de la cobertura original de vegetación.
	Deforestación (tala)	Extinción local de especies y pérdida de ciclos naturales (biogeoquímico).
	Asentamiento humano	Pérdida de componentes naturales.
	Turismo	Desmonte de la cobertura original de vegetación para expandir las áreas de recreación.
Fragmentación	Manejo y aprovechamiento forestal sustentable	Apertura de brecha y caminos para la extracción de especies forestales permitidas y no permitidas.
	Apertura y mantenimiento de vías de comunicación.	Apertura de brecha y caminos que dividen los ecosistemas naturales.
	Apertura y mantenimiento de redes de servicios (luz y agua)	Apertura de brecha y caminos que dividen los ecosistemas naturales.
	Agricultura de montaña	Erradicación de los estratos arbustivos y herbáceos.
	Pastoreo de ganado	Pérdida de los estratos vegetales arbustivo y herbáceo, por sobre pastoreo.
	Senderismo	Permanencia y apertura de brecha que dividen los ecosistemas naturales.
	Brecha cortafuego	Permanencia y apertura de brecha que dividen los ecosistemas naturales.
Modificación	Reforestación	Reducción de especies vegetales y animales nativas.
	Extracción de recursos forestales y no forestales (comercio)	Disminución en cuanto a la disposición de recursos naturales.
	Extracción de recursos forestales y no forestales (autoconsumo)	Disminución en cuanto a la disposición de recursos naturales.
	Incendios	Cambios en la composición original de los ecosistemas.

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo.

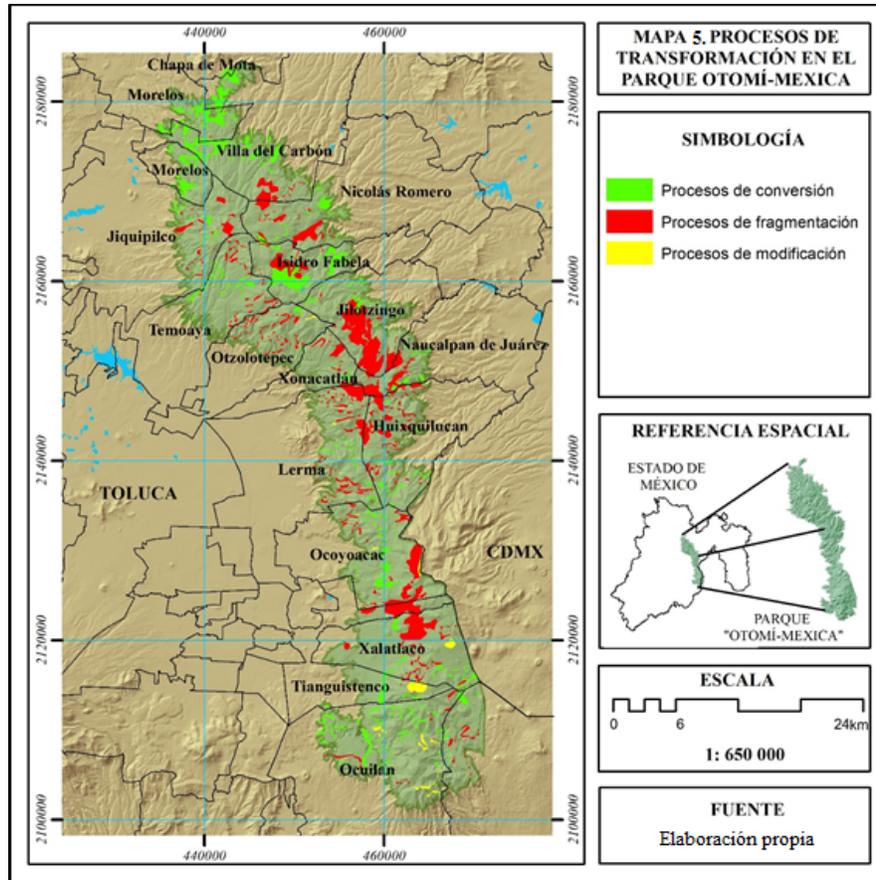


Figura 7. Mapa de ubicación geográfica de los procesos de transformación.
Fuente: Elaboración propia.

El primer proceso de transformación identificado es la conversión, ya que ha afectado aproximadamente 7 626.07 ha del territorio administrativo del parque. El desarrollo de este fenómeno es el resultado del desarrollo de actividades antrópicas vinculadas al desarrollo y crecimiento de áreas agrícolas, aprovechamiento forestal, asentamientos humanos, deforestación, ganadería y expansión de zonas para el desarrollo de actividades turísticas (figura 8).

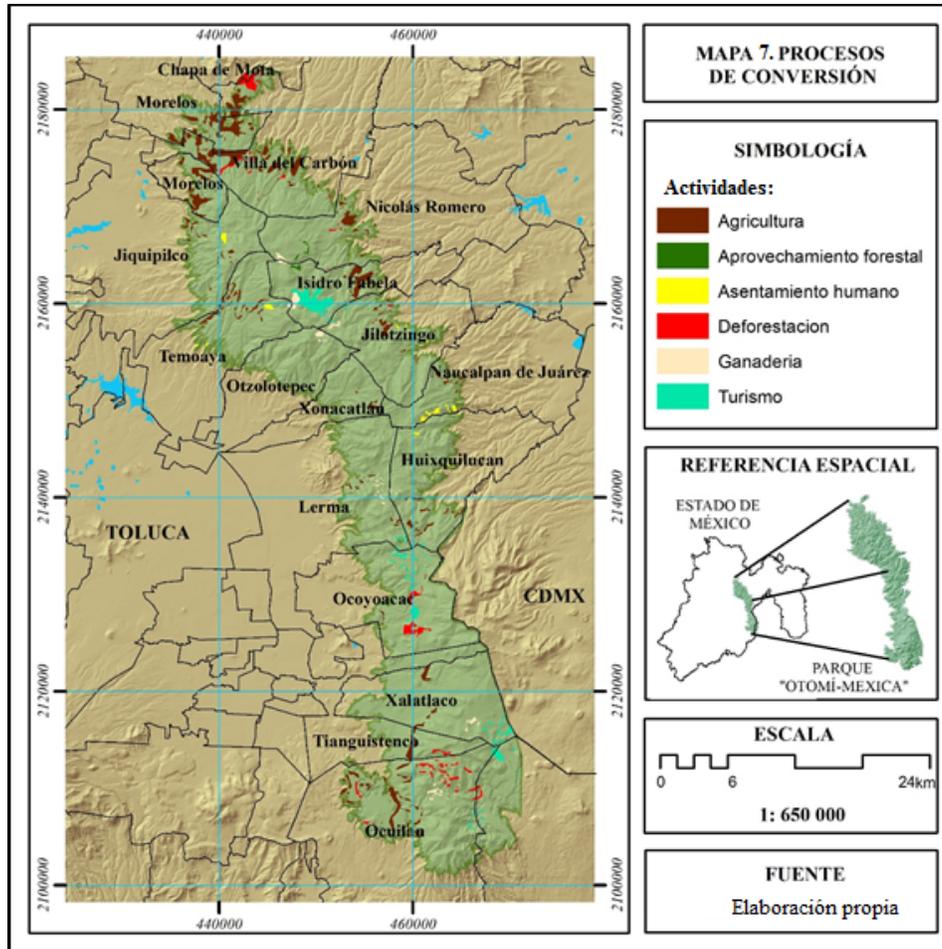


Figura 8. Mapa de ubicación geográfica de los procesos de conversión.
Fuente: Elaboración propia.

Los procesos de deforestación a consecuencia de la tala ilegal de especies arbóreas es el inicio en la transformación de los componentes naturales del territorio, ya que se remueve por completo la cobertura natural del territorio. La apertura y crecimiento de áreas para el desarrollo agrícola termina por eliminar las coberturas arbustivas y herbáceas, alterando las propiedades edáficas del componente suelo. Posteriormente, en algunas zonas el establecimiento de viviendas dará inicio a la creación de asentamientos humanos, y en algunos puntos del territorio se detonará el desarrollo y apertura de áreas para la prestación de servicios turísticos.

El turismo y sus actividades están en constante crecimiento. Dada la ubicación geográfica del ANP, su territorio se ha convertido en uno de los principales proveedores de espacios naturales para desarrollar actividades de ocio por parte de los pobladores de la Región Centro de México. Algunos de los municipios emergentes dentro de las actividades turísticas son Isidro Fabela, Xalatlaco, Villa del Carbón y Ocoyoacac, este último no se considera emergente; sin embargo, las actividades turísticas dentro de su territorio están en constante crecimiento y expansión territorial, principalmente en áreas del municipio conocidas regionalmente como La Marquesa, Valle del Silencio, Valle del Conejo y El Potrero.

En la tabla 5 se observa el total de la superficie afectada por las actividades que conforman el proceso de conversión. De manera particular, es la agricultura la principal actividad que produce un cambio total

en cuanto a estructura natural del territorio, ya que erradica por completo los estratos que componen los ecosistemas de bosque (herbáceo, arbustivo y arbóreo), ocasionando con ello degradación irreversible de los componentes naturales y afectando severamente el ciclo biogeoquímico del parque.

Tabla 5. Superficie que ocupan las actividades relacionadas con los procesos de conversión.

Actividad	Área en ha
Agricultura	4623.76
Aprovechamiento forestal	70.89
Asentamiento humano	270.58
Deforestación	995.69
Ganadería	457.14
Turismo	1207.99
Total	7626.07

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, las actividades como la deforestación y el crecimiento habitacional de las localidades urbanas y rurales ubicadas al interior del límite administrativo del ANP están afectado de manera negativa la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. La reducción de la cobertura forestal está ocasionando problemas vinculados directamente al ciclo biogeoquímico, pues actualmente se reconoce que los cambios de uso del suelo y vegetación están asociados a los efectos adversos que experimentan los elementos atmosféricos del ciclo hidrológico, como la evapotranspiración, la precipitación y las temperaturas superficiales.

El segundo proceso de transformación corresponde a la fragmentación, concebida como la reducción o aislamientos del hábitat natural continuo en pequeños remanentes. Este fenómeno ha afectado aproximadamente 9 982.21 ha del territorio del administrativo del parque. De acuerdo con los datos obtenidos en campo, este fenómeno se detona por el desarrollo de actividades humanas vinculadas con la apertura y mantenimiento de redes de servicios (vías de comunicación, red de agua potable, luz eléctrica y sistema de drenaje), agricultura de montaña, pastoreo de ganado, senderismo y apertura de brechas corta fuego (figura 9).

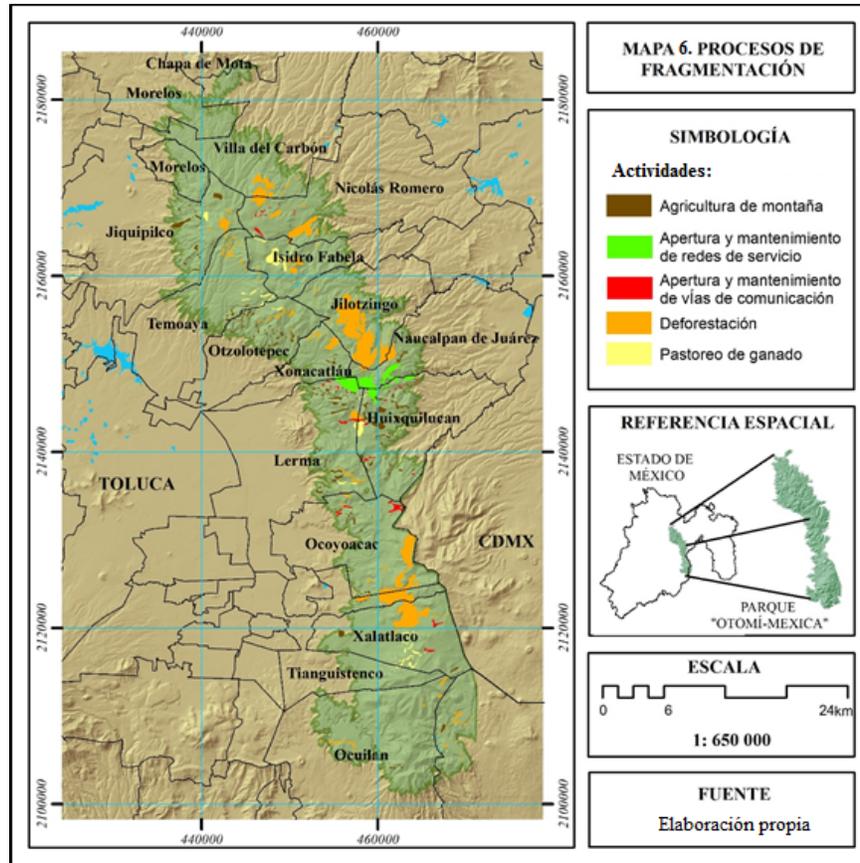


Figura 9. Mapa de ubicación geográfica de los procesos de fragmentación.
Fuente: Elaboración propia.

Las actividades vinculadas con la apertura y mantenimiento de redes de servicios (red eléctrica) se concentran entre los territorios de los municipios de Naucalpan, Lerma y Huixquilucan, en este punto del parque la aglomeración de redes eléctricas es conducida a través de ecosistemas de bosques pino y oyamel, ocasionado el derribo de especies arbóreas a lo largo del territorio que cubre la red eléctrica, esto para evitar daños o incendios forestales a consecuencia de cortos eléctricos.

En la tabla 6 se muestra la superficie terrestre afectada por las actividades antrópicas asociadas a los procesos de fragmentación. Se observa que la actividad de deforestación es la que mayor superficie terrestre ocupa. Sin embargo, a diferencia del proceso de deforestación clasificado dentro de las actividades de conversión, en esta clasificación este proceso obedece a un patrón de selección de especies arbóreas; es decir, el desarrollo de esta actividad es seccionado, ocasionando con ello que los ecosistemas arbóreos de pino, oyamel y encino sean seccionados en áreas de menor tamaño.

Tabla 6. Superficie ocupada por las actividades relacionadas con los procesos de fragmentación.

Actividad	Área en ha
Agricultura de montaña	1532.71
Apertura y mantenimiento de redes de servicio	923.78
Apertura y mantenimiento de vías de comunicación	382.40
Deforestación	6258.17
Pastoreo de ganado	885.11
Total	9982.21

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del proceso de deforestación seccionado dentro de los ecosistemas locales, el desarrollo de actividades relacionadas con la agricultura de montaña y pastoreo de ganado local es evidente, principalmente en áreas de mayor altitud en donde hace algunos años era casi imposible desarrollar este tipo de actividades. Sin embargo, con la apertura de vías comunicación (autopistas, carreteras, terracerías y veredas), el acceso a estos puntos del territorio es menos complicado.

En general, las actividades antrópicas vinculadas al proceso de fragmentación dividen los ecosistemas locales, incluso en algunos sitios de parque estas actividades han llegado a reducir los ambientes nativos en pequeños remanentes que posteriormente han sido transformados en áreas agrícolas, zonas de pastizal y espacios de recreación turística.

El tercer proceso de transformación identificado en el área de estudio es la modificación. De acuerdo con Galicia & Rodríguez-Bustos (2016), la modificación es percibida en la región centro de montaña de México como la distribución del bosque y la abundancia de los componentes naturales. En algunas localidades del parque la modificación es concebida como la disminución de los componentes naturales del territorio y vinculada con el desarrollo de actividades de reforestación, extracción de recursos forestales y no forestales con fines de autoconsumo y comercio regional e incendios.

Los procesos de reforestación dentro del territorio administrativo del ANP se han desarrollado con especies locales de pino, oyamel y encinos, principalmente en zonas ubicadas a mayor altitud. Sin embargo, en puntos con mayor accesibilidad (vías de comunicación y localidades), estas se han realizado con especies introducidas como el Cedro Blanco (*Cupressus lusitanica*), situación que está generando la disminución de especies vegetales locales.

La extracción de componentes forestales y no forestales con fines comerciales y de autoconsumo representa una constante modificación de los ecosistemas locales, afectando directamente la disponibilidad de recursos naturales y con ello la diversidad de productos en mercados locales y regionales del Centro de México, principalmente de productos de temporada como hongos y frutas silvestres, quelites, plantas medicinales, leña y materias primas, la confección de herramientas (cabos de picos, palas y azadones) y accesorios (escobas y escobetas de raíz⁵).

Los incendios forestales durante la época de estiaje son el resultado del descuido y desarrollo de la actividad de roza y quema sobre espacios destinados a la producción agrícola y en pastizales utilizados para el pastoreo de ganado local. En algunos puntos del parque, los incendios forestales han sido ocasionados

⁵ En algunas zonas de México se utilizan como accesorios de limpieza y son confeccionadas a partir de raíces y fibras naturales.

por la imprudencia de visitantes y pobladores locales. Los incendios han contribuido a la modificación del territorio y a la adaptación y desarrollo de especies forestales. Un ejemplo de ello es la especie de Pino de las alturas (*Pinus hartwegii*), especie arbórea que, ante los estragos ocasionados por los incendios forestales, ha desarrollado una serie de adaptaciones como corteza gruesa que funciona como aislante, capacidad para recuperar la copa al paso del fuego y germinación de semilla con ayuda del fuego (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2017).

Durante el año 2005, dentro del territorio administrativo del ANP se reportaron una serie de incendios forestales que devastaron centenares de hectáreas de bosques oyamel y pino. Los municipios de Ocuilán y Xalatlaco presentaron las mayores pérdidas ecosistémicas a consecuencia de este fenómeno. Mediante la recopilación de información cartográfica e imágenes de satélite, se logró identificar las áreas afectadas por los incendios forestales (figura 10).



Figura 10. Bosque de oyamel modificado por incendio forestal durante el año 2005. Paraje las Truchas, municipio de Ocuilán Estado de México
Fuente: *Digital Globe* (2007).

En la figura 10 se puede observar que la cobertura arbórea del bosque de oyamel fue erradicada completamente durante un incendio registrado en el año 2005; sin embargo, la toma satelital corresponde al año 2007 y en ella se puede observar la regeneración natural de los estratos herbáceos y arbustivos, proceso que favorece el desarrollo de otras especies vegetales y animales (Nasi, Dennis, Meijaard, Applegate & Moore, 2001).

Discusión

Es evidente que, a nivel mundial, el desarrollo y crecimiento económico de las naciones se basa en el uso de los componentes ecosistémicos de sus territorios. Sin embargo, es el uso desmedido de los componentes ecosistémicos la principal consecuencia que detona la degradación ambiental de nuestro planeta. El aumento constante en la extracción de los componentes ambientales que conforman los ecosistemas es la principal causa que genera los procesos de transformación que inciden en los cambios de uso del suelo y vegetación a nivel global.

En México, los datos cartográficos y estadísticos disponibles en el año 2002 muestran que cerca de la mitad del territorio nacional ha sido transformado intensamente. El 41% de las selvas ha sido modificado

de forma intensiva, lo que establece que estos ambientes sean los más afectados. Por otra parte, los ecosistemas de matorrales primarios son los ambientes que menos modificaciones han experimentado (Semarnat, 2002).

Autores como Galicia & Rodríguez-Bustos (2016) determinan que las principales actividades antrópicas que inciden en las transformaciones del paisaje de la región montañosa del centro de México se deben a tres grandes procesos de transformación: conversión, intensificación y modificación, generados por la constante extracción de los componentes ecosistémicos que fungen como la base de provisión de recursos para la población local y regional.

Durante el desarrollo de la presente investigación, llevada a cabo en un área natural protegida de la Región Centro de México, es evidente que la degradación ambiental de su territorio administrativo es ocasionada por el constante crecimiento en la extracción de sus componentes ambientales, a partir del desarrollo de actividades antrópicas vinculadas a tres grandes procesos de transformación (conversión, fragmentación y modificación), ya que el área del parque funciona como la base de provisión de servicios ecosistémicos para los pobladores de la megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y de un sinnúmero de empresas nacionales e internacionales ubicadas en corredores industriales cercanos al territorio administrativo del ANP.

Los procesos de transformación ubicados al interior del límite administrativo del parque son detonados por una serie de actividades antrópicas que, de forma gradual, están sustituyendo las coberturas naturales del territorio por actividades productivas relacionadas estrechamente con la deforestación, agricultura de temporada y, en menor proporción, por actividades vinculadas con la extracción de recursos forestales y no forestales con fines de autoconsumo y comercial.

No obstante, este patrón de comportamiento no es exclusivo del Parque Otomí-Mexica del Estado de México. Un estudio realizado en áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental de México demuestra que las actividades agrícolas y de pastoreo sustituyen de manera gradual las coberturas naturales del territorio, ocasionando la simplificación (disminución de la diversidad estructural) paulatina de los bosques y selvas, declinando la riqueza y abundancia de especies animales y vegetales, datos reportados en otros estudios realizados en la región (Miranda *et al.*, 2013; Molina-Guerra *et al.*, 2013; Sahagún, Reyes, Flores & Chapa, 2011; Sahagún & Reyes, 2018).

En esta investigación, los mapas de uso del suelo y vegetación obtenidos a partir de imágenes de satélite, el uso de material cartográfico (mapas del territorio), la aplicación de herramientas geotecnológicas (navegador GPS y *software* SIG) y el uso de técnicas de trabajo de campo (observación directa y participativa) aplicadas durante los recorridos por los diversos ambientes que componen el ANP, proporcionaron las bases para la ubicación, identificación y análisis espacial de los principales procesos y actividades vinculadas con la transformación del territorio.

Durante el periodo de análisis de esta investigación (1993-2018), los resultados muestran que el 17% del territorio del ANP ha sido modificado intensamente, principalmente por actividades vinculadas con la deforestación, agricultura y actividades turísticas. De acuerdo con datos obtenidos por Lambin *et al.* (1999) y Semarnat (2002), los procesos de transformación ambiental descritos previamente contribuyen de manera directa al cambio climático global, los ciclos biogeoquímicos, la pérdida de biodiversidad, y contribuyen de manera irreversible a la degradación ambiental.

En la última década del siglo XXI, los estudios sobre cambio de uso del suelo y vegetación van en aumento y son considerados como parte de una serie de estrategias que ayudan a determinar la trayectoria de degradación o recuperación ambiental de los territorios a nivel mundial. Autores como Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández (2018); Camacho *et al.* (2017); Juan (2017); Galicia & Rodríguez-Bustos (2016); López *et al.* (2015); Camacho-Sanabria *et al.* (2015); García, Cedillo, Juan & Balderas (2012); y Pineda, Bosque, Gómez & Plata (2009) han realizado estudios sobre cambios del uso del suelo y vegetación a nivel local y regional bajo distintos métodos y técnicas de investigación, logrando determinar las pérdidas, ganancias, cambios e intercambios entre coberturas de uso del suelo.

No obstante, el presente estudio además de determinar estas variables, ha logrado identificar, clasificar y ubicar de manera espacial una serie de procesos y actividades que detonan las transformaciones del cambio de uso del suelo y vegetación dentro del límite administrativo del ANP. Esta aportación en materia de investigación ambiental representa una importante herramienta para la toma de decisiones, definición de estrategias e incluso un soporte para las propuestas de zonificación ambiental (políticas de manejo ambiental) de los territorios bajo protección ambiental.

Otro hallazgo importante indica que las áreas naturales protegidas en México, además de desempeñar un papel importante en la conservación de ecosistemas, sufren de una constante presión antrópica generada por las comunidades ubicadas a su interior y en algunos casos, la presión es mayor cuando esta se ejerce desde el exterior, principalmente por núcleos urbanos y metrópolis que, de manera conjunta, demandan diversos servicios ambientales.

De esta forma, la integridad ecosistémica de los territorios bajo protección ambiental se ve amenazada por factores directos como la expansión de zonas para desarrollar actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como por factores indirectos, demográficos y políticos que permiten el establecimiento y crecimiento de asentamientos humanos de manera irregular, concesiones para la apertura de nuevos caminos (autopistas, carreteras, terracearías) y construcción de infraestructura (tren interurbano México-Toluca).

Conclusiones

Derivado de la modelación cartográfica y del trabajo realizado directamente en campo, se concluye que los procesos de transformación asociados con la fragmentación han afectado aproximadamente 9 982.21 ha, principalmente en zonas donde se desarrollan de manera natural ecosistemas de bosques de coníferas (pino y oyamel). Los procesos asociados a la conversión han afectado unas 7 626.07 ha, siendo la agricultura el principal detonante, mientras que los procesos de modificación y las actividades antrópicas que los detonan representan los menores niveles en cuanto a la modificación de los ecosistemas locales.

Sin embargo, estos procesos, al ser analizados de manera conjunta, influyen de manera directa en la degradación ambiental del territorio del ANP. Por lo anterior, las políticas, planes y programas de aprovechamiento, conservación, protección y restauración de los ecosistemas deben partir de perspectivas integrales que permitan determinar su eficacia, análisis prospectivos y retrospectivos.

Referencias

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). (2017). *Programa Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2014-2018*. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/programa-nacional-de-areas-naturalesprotegidas>
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2017). El bosque después del fuego. <https://www.gob.mx/conafor/articulos/el-bosque-despues-del-fuego>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2006). *Capital natural y bienestar social*. México, D.F.: Redacta-Gaia Editores, S. A. de C. V. http://www.conabio.gob.mx/2ep/images/3/37/capital_natural_2EP.pdf
- Camacho, R., Camacho, J. M., Balderas, M. Á., & Sánchez, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: Estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 39-60. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Camacho, J. M., Juan, J. I., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L. C., & Marcela, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.211435>
- Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (Cepanaf). (2019). *Áreas Naturales Protegidas*. <https://cepanaf.edomex.gob.mx/areasnaturalesprotegidas>
- García, J. A., Cedillo, J. G., Juan, J. I., & Balderas, M. A. (2012). Procesos de cambio en el uso del suelo de una microcuenca en el altiplano mexicano. El caso del Río San José en el Estado de México. *Papeles de Geografía*, (55-56), 63-73. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/176211>
- Galicia, L., & Rodríguez, L. (2016). Causas locales de la transformación del paisaje en una región montana del centro de México. *Acta Universitaria*, 26(6), 83-94. doi: <http://dx.doi.org/10.15174/au.2016.1168>
- Gobierno del Estado de México (GEM). (1980). Decreto del Parque Ecológico, Turístico y Recreativo Zempoala la Bufo, denominado Parque Otomí-Mexica del Estado de México. *Gaceta del Estado de México*. Toluca, México. [http://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/PE-27%20TOMI%20-%20MEXICA\(DT\).pdf](http://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/PE-27%20TOMI%20-%20MEXICA(DT).pdf)
- Juan, J. I. (2017). Cambios del uso del suelo en la Sierra Madre del Sur entre los años 2000-2017. El caso de la comunidad de Progreso Hidalgo, municipio de Villa Guerrero, Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola*, (59), 101-126. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/68599>
- Lambin, E. F., Baulies, X., Bockstael, N. E., Fischer, G., Krug, T., Leemans, R., Moran, E., Rindfuss, R. R., Turner, II., Skole, D., & Vogel, C. (1999). Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy. *IGBP report 48*. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc12005/>
- López, V. H., Balderas, M. Á., Chávez, M. C., Juan, J. I., & Gutiérrez, J. G. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *Ciencia Ergo-Sum*, 22(2), 136-144. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7714>
- Miranda, L., Treviño, E. J., Jiménez, J., Aguirre, O., González, M. A., Pompa, M., & Aguirre, C. A. (2013). Monitoreo de la deforestación mediante técnicas geomáticas en el centro-norte de México. *Ciencia UANL*, 16(64), 43-54. <http://cienciauanl.uanl.mx/wp-content/uploads/2014/01/Monitoreo-deforestacion.pdf>
- Molina, V. M., Pando, M., Alanís, E., Canizales, P., González, H., & Jiménez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), 361-371. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/3193/2618>
- Nasi, R., Dennis, R., Meijaard, E., Applegate, G., & Moore, P. (2001). Los incendios forestales y la diversidad biológica. <http://www.fao.org/3/y3582s/y3582s08.htm>
- Pineda, N. B., Bosque, J., Gómez, M., & Plata, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 69, 33-52. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004

- Sahagún, F. J., Reyes, H., Flores, J. L., & Chapa, L. (2011). Modelización de escenarios de cambio potencial en la vegetación y el uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, México. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), 65-86. doi: 10.2307/23209585.
- Sahagún, F. J. & Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *Ciencias UAT*, 12(2), 06-21. doi: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v12i2.831>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2002). *Cambios en el uso del suelo*. http://www.paot.org.mx/centro/inesemarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.2_Cambios/index.htm
- Villegas, D., Gutiérrez, J. G., Espinosa, L. M., & Makowski, J. (2018). Importancia socioambiental del Parque Otomí-Mexica del Estado de México. En M. V. Santana, G. Hoyos, G. Santana, F. Zepeda & J. R. Calderón (Eds.), *Vulnerabilidad, resiliencia y ordenamiento territorial* (pp. 403-434). Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94607>
- Villegas, D., Gutiérrez, J. G., Gómez, W., & Espinosa, L. M. (2019). Procesos que influyen en las transformaciones territoriales de zonas bajo diferentes políticas de manejo ambiental en el Parque Otomí-Mexica del Estado de México. En M. V. Santana, G. Hoyos, F. Zepeda, Calderón, J. R. & G. Santana (Eds.), *Transformaciones territoriales en México y Polonia: Vulnerabilidad, resiliencia y ordenación territorial* (pp. 126-148). Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94607>