

Modelos predictivos de cambio de cobertura y uso de suelo. Estudio de caso Cerro del Águila y Cerro del Quinceo, Morelia, Michoacán

Land use and cover change predictive models. Study case of Cerro del Águila y Cerro del Quinceo, Morelia, Michoacán

Natalia Carrillo-Reyna¹ ; Fernando Rosete-Vergés² ;
Rodolfo Ruíz-López³ 

RESUMEN

Se elaboraron modelos predictivos de cambio de cobertura y uso de suelo en el cerro del Águila y cerro del Quinceo en Michoacán, ambos sistemas de abundante riqueza natural y proveedores de servicios ecosistémicos a la ciudad de Morelia y sus alrededores, pero con problemas que amenazan su integridad ecológica, como la expansión de asentamientos humanos y de actividades agropecuarias. El periodo de tiempo analizado va del año 1995 al 2023, en el que cuantificamos la superficie deforestada y perturbada, la superficie con recuperación natural de vegetación o reforestada. A partir de estos datos elaboramos un diagnóstico sobre las principales actividades que desencadenan la deforestación y el cambio de uso de suelo en cada sitio, análisis en el que también fueron revisadas políticas públicas y programas de gobierno que tuvieron influencia en dichos procesos. Los resultados muestran un fuerte proceso de perturbación en ambos cerros, como el aumento de las cubiertas con vegetación secundaria, la pérdida de bosque y una importante relación con la implementación del programa PROCEDE.

Palabras clave: Deforestación, tasa de cambio, dominio pleno, políticas públicas.

ABSTRACT

Predictive models of use land cover change were developed in Cerro del Águila and Cerro del Quinceo in Michoacán, both systems of abundant natural wealth and providers of ecosystem services to the city and its surroundings. Both hills present serious problems that threaten their ecological integrity, such as the expansion of human settlements and agricultural activities. The period analyzed goes from 1995 to 2023, in which we quantify the deforested and disturbed surface, the surface with vegetation recovery or that were reforested. From these data we prepared a diagnosis of the main activities that trigger

¹ Institución: Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán; Correo electrónico: natcarey1@gmail.com

² Institución: Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán; Correo electrónico: fernando.rosetev@enesmorelia.unam.mx

³ Institución: Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán; Correo electrónico: rodolgo.rl.ciga@gmail.com

deforestation and land use change in each site, an analysis in which various public policies and government programs that had an influence on processes were also reviewed. The results show a strong disturbance process in both hills, such as the increase in secondary vegetation covers, the loss of forest and a strong relationship with the implementation of the PROCEDE program.

Keywords: Deforestation, change rate, full domain, public policies.

Introducción

El actual modelo de desarrollo, basado en el acelerado crecimiento económico y un consumo irresponsable de bienes y servicios, presenta riesgos ecológicos que, de no ser entendidos y sobrellevados a la brevedad, pueden resultar en un impacto irreversible a los ecosistemas (Challenger et al., 2018a). Si queremos que nuestras ciudades sigan siendo habitables y aptas para el correcto desarrollo humano se debe planificar, basándonos en el conocimiento de los ecosistemas y los socioecosistemas (Challenger et al., 2018b).

La deforestación para cambio de uso del suelo, tiene implicaciones ambientales de dimensiones globales, como el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad, la degradación de suelos y sobre el bienestar humano (Ayram et al., 2014; Marín, 2016). La identificación de los factores asociados a estos cambios es esencial para entenderlos y crear soluciones, ya que los procesos más importantes de cambio de uso de suelo no son los aspectos biofísicos naturales, como las condiciones ambientales, si no los aspectos socioeconómicos que engloban una mayor complejidad en sus orígenes (Osorio et al., 2015b).

La aplicación de políticas públicas que estimulan la expansión urbana y agrícola, sin una planificación adecuada que promueva la sustentabilidad, así como priorizar el desarrollo económico sobre la conservación del medio ambiente, implican una pérdida importante de superficie forestal (Ceddía et al., 2014; Sánchez, 2019). La falta de regulación y de coordinación entre las políticas agrícolas y forestales, con la priorización de las primeras, ha fomentado la conversión de tierras forestales a cultivos, con el fin de hacerlas productivas o como mecanismo para legitimar su propiedad (Redo et al., 2012; Bottazzi & Dao, 2013). La tenencia de la tierra se señala como un factor importante asociado con la deforestación, sin embargo, Bottazzi y Dao (2013) señalan que no hay una relación directa con el tipo de propiedad, privada o comunal, sino más bien con el nivel de compromiso de los propietarios para limitar la explotación.

En la actualidad, se asume que los problemas ambientales son asuntos públicos que rebasan las fronteras de las sociedades locales. En consecuencia, sobrepasan las atribuciones de los gobiernos territoriales y ponen en evidencia la ineficiencia de la gobernanza local. Ello ha motivado que en las sociedades tome forma y se valide un nuevo concepto de "lo público", que abarca la dimensión humana universal y no solo la particular de la ciudadanía, de una asociación política espacialmente delimitada (Aguilar, 2019).

Actualmente, la atención de los problemas y asuntos públicos se da a través de políticas públicas diseñadas para ello. Rodríguez (2017), señala que las políticas públicas son decisiones gu-

bernamentales con consenso de sectores de la sociedad, destinadas al logro de objetivos razonables, es decir, a resolver problemas de índole social, donde los gobiernos no sean solo legalmente constituidos si no legitimados por gobernados. Las políticas públicas diseñadas para resolver problemas ambientales requieren ser inherentemente transversales (Domínguez, 2010), pues deben atender una complejidad de aspectos socioecológicos relacionados con las causas del problema, sus efectos y sus soluciones (Sosa-Nuñez, 2016). Para ello, es fundamental contar con la mejor información científica disponible que permita obtener una amplia visión de esos aspectos.

En México, uno de los principales problemas ambientales es la deforestación para cambio de uso de suelo (Rosete-Vergés et al., 2017). La extracción ilegal de madera, la expansión de la agricultura, principalmente de los cultivos permanentes, y la construcción de infraestructura para abrir o mejorar vías de comunicación y transporte, se consideran otras causas directas importantes de la deforestación en nuestro país (López-Feldman, 2012).

Una de las principales herramientas que nos permiten identificar cantidades y áreas susceptibles a modificaciones en el paisaje son los modelos de Cambio de Cobertura y Uso de Suelo (CCUS). Los modelos CCUS son herramientas que pueden utilizarse para comprender y analizar la relación entre los procesos socioeconómicos, asociados al aprovechamiento del territorio, las actividades agrícolas y las estrategias en el manejo de los recursos naturales, con las formas en que esos cambios afectan la estructura y la función de los ecosistemas (Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández, 2018). Estos modelos han servido para alertar sobre los riesgos a corto y mediano plazo en regiones particulares del país sobre cambios de cobertura y uso del suelo, así como a procesos de deterioro ambiental, tales como la pérdida de hábitat, de diversidad biológica, servicios ambientales y potencial productivo de los ecosistemas (Aguilar-Rivera et al., 2013; Osorio et al., 2015; Achicanoy et al., 2018). Esto es de crucial importancia para zonas de alta fragilidad ambiental o de relevancia biológica, por lo que la identificación puntual en zonas específicas con presión antrópica es vital para la planeación territorial y el manejo y conservación de los recursos naturales (Rosete, 2008).

Michoacán es un estado con alta diversidad biológica; sin embargo, en la entidad se han perdido 350 mil ha de bosque en los últimos 10 años (Josimar-Lara, 2022). Los principales motivos de la pérdida de cobertura vegetal natural y degradación de suelos son la deforestación por expansión de tierras cultivables, la extracción ilegal de madera, el sobrepastoreo, las prácticas agrícolas inadecuadas y la falta de planeación en los procesos de suburbanización (CONABIO, 2019).

La ciudad de Morelia se localiza al noreste del estado de Michoacán, es flanqueada por estructuras volcánicas como el cerro del Quinceo-Las Tetillas al oeste, el Punhuato al este, la Sierra de Mil Cumbres al sur y el cerro del Águila al suroeste (Hugo, 2015). El cerro del Águila y del Quinceo, son un claro ejemplo de procesos de CCUS, aunque ambos mantienen una abundante riqueza natural y son proveedores de múltiples beneficios ecosistémicos a la ciudad de Morelia y sus alrededores, como captación de agua y tributarios de manantiales, pozos y flujos de agua subterránea para la Ciudad, regulación de clima y formación de suelos, entre muchos otros (Zacarías-Eslava et al., 2011).

Estos cerros presentan problemas graves que amenazan la permanencia de sus bosques y por lo tanto su integridad ecológica, como la expansión de asentamientos humanos y de actividades

agrícolas y pecuarias, por ejemplo, el incremento en las huertas de aguacate (Zacarias-Eslava et al., 2011). A pesar de ello, al momento, no se ha caracterizado a detalle la dinámica de los procesos de deforestación y CCUS, ni los factores socioeconómicos que propician este cambio, factores que tampoco han sido atendidos de manera eficiente para frenar su impacto.

Es así que, en esta investigación, aportamos información para la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas, estableciendo la dinámica de los procesos de deforestación de ambos cerros e identificando su relación con los factores socioeconómicos, así como analizamos el efecto de políticas públicas aplicadas en la región para conocer su relación con los procesos de CCUS. Como producto final, desarrollamos mapas de cambio de uso de suelo en un periodo de 28 años, obtuvimos las tasas anuales de deforestación y desarrollamos un modelo predictivo de los patrones de deforestación para cada uno de ellos.

Área de estudio

Cerro del Águila

Ubicado en los municipios de Morelia y Lagunillas, con temperatura media anual de 17.6°C y precipitación de 791.6 mm anuales, este cerro alberga alrededor de 4,223 hectáreas de bosque de encino y vegetación arbustiva con una alta diversidad de especies nativas. Se reconoce el bosque tropical caducifolio y bosques de *Quercus* (Zacarias-Eslava, 2011). El cerro del águila es de suma importancia para la ciudad de Morelia por la provisión de servicios hidrológicos al ser el principal tributario de agua para el Manantial La Mintzita, que abastece el 40% del agua que requiere la ciudad de Morelia (Bahena, 2010). Además, que es un importante reservorio de biomasa aérea por lo que es importante como sitio de almacenamiento de carbono (De Comunicación Social, 2023). Sin embargo, la cubierta forestal de este cerro está en riesgo debido a la presión negativa ejercida por las actividades económicas de los asentamientos humanos que lo rodean (Zacarias-Eslava, 2011). López-Granados (2006) indica que los "bosques cerrados" en la cuenca del Lago de Cuitzeo, donde se localiza el cerro El Águila, han disminuido su extensión en un 50% durante los últimos 30 años.

Cerro del Quinceo

El pico del Quinceo tiene una altitud de 2740 m.s.n.m, con clima semicálido-húmedo con lluvias en verano. Su vegetación se compone de matorral subtropical y pastizal inducido, (Pico del Quinceo, 2023). Una de las principales problemáticas de este cerro son los incendios, provocados por la quema de siembra o basura de los vecinos de la colonia del Quinceo (Pico del Quinceo, 2023). El Cerro del Quinceo es importante zona de escurrimientos, tributario del Manantial la Mintzita, reservorio de biomasa aérea de suma importancia como sitio de almacenamiento de carbono, además de ser refugio de fauna silvestre (De Comunicación Social, 2023).

Materiales y métodos

Análisis de cambios en la cubierta de vegetación y uso de suelo

Con el objetivo de identificar la cubierta vegetal y el uso del suelo en los cerros y medir sus cambios a través del tiempo, se llevó a cabo el método de interpretación visual en pantalla de imágenes satelitales y fotografías aéreas, el cual se basa en la capacidad para relacionar las características de una imagen (color, texturas, tono, sombras, etc.) con las características del mundo real (Chuvienco, 1990; Dmd/uvq, 2023). Para obtener los datos de cambio, se realizó la digitalización de polígonos con los tipos de cobertura vegetal y uso de suelo para tres fechas, para conocer el estado anterior y actual de la cobertura: 1995, 2009 y 2023, siendo la digitalización de la imagen del año 1995 el mapa base del estudio. Para la digitalización de las fechas posteriores a los mapas base, se aplicó el método de fotointerpretación interdependiente propuesto por la FAO (1996, 2001; Palmer, 1998; Mather, 2003). El cual indica que se interpreten completamente los polígonos de una primera fecha, que se emplearán para interpretar las demás fechas, sólo modificando los segmentos en donde se visualicen cambios.

A través de un reconocimiento previo de la zona de estudio realizando recorridos a pie y utilizando insumos cartográficos como la serie VI del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016b), así como la plataforma digital de observación espacial Google Earth®, las clases de vegetación y uso de suelo fueron definidas para este estudio como: cubierta forestal primaria o bosque, cubierta de vegetación de matorral, cubiertas de vegetación secundaria y pastizales, como uso de suelo se definió la clase de suelos agrícolas o agricultura sin discriminar el tipo de cultivo ni el régimen de siembra y urbano a las zonas que mostraban crecimiento urbano. Una vez con la digitalización de las imágenes, se obtuvieron capas correspondientes a las coberturas vegetales y uso de suelo en los periodos seleccionados (1995-2009, 2009-2023, 1995-2023). Como productos, se obtuvieron tres salidas cartográficas digitales por cada zona de estudio y tres mapas temáticos de cambio de la cubierta forestal y uso de suelo por zona de estudio, correspondientes a cada período, para su análisis. La clasificación de los cambios establecidos en cada área de estudio, por cada periodo se dio de la siguiente manera (adaptado de Ramírez y Zubieta, 2005):

- Deforestación - Cubiertas de bosques primarios o nativos y vegetación arbustiva que cambiaron a pastizales o cubiertas agrícolas.
- Perturbación - Bosques primarios, abiertos o fragmentados que se convirtieron en vegetación arbustiva.
- Recuperación - Bosques fragmentados que densificaron su arbolado o vegetación arbustiva donde comienzan a predominar elementos arbóreos.
- Revegetación - Superficies ocupadas por pastizales o cubiertas agrícolas abandonadas que presentan un restablecimiento de la vegetación natural.
- Crecimiento urbano - Zonas donde hubo expansión de construcciones y de áreas de uso urbano.

Los insumos cartográficos utilizados fueron:

- Cerro del Águila, Ortofoto Digital E14A22C, escala 1:20 000, 1995 (PATZCUARO), Resolución de 2.0 Metro, Ortofoto Digital E14A22F, escala 1:20 000, 1995 (PATZCUARO) con Resolución de 2.0 Metros (INEGI, 2023).
- Cerro del Quinceo, Ortofoto Digital E14A13D, escala 1:20 000, 1995 (CUITZEO) con Resolución de 2.0 Metros, Ortofoto Digital E14A23A, escala 1:20 000, 1995 (MORELIA) con Resolución de 2.0 Metros (INEGI, 2023).
- Imagen satelital Spot 5, año 2009, resolución espacial 10 metros.
- Imagen satelital Sentinel, año 2023, resolución espacial 10 metros.

Las imágenes fueron procesadas para cada área de estudio, antes de proceder a su clasificación. La digitalización se realizó bajo el conocimiento previo de la zona de estudio y posteriormente se realizó una salida de campo para hacer una verificación in situ de los resultados de la clasificación para la fecha 2023.

Tasa de deforestación

Con los datos de las superficies de cada clase obtenidos en la clasificación visual se calculó la tasa de deforestación de ambos cerros de acuerdo con la fórmula utilizada por la FAO (1996; Palmer, 1998):

$$t = \left(1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Dónde: t = tasa de cambio

S_1 = superficie en la fecha 1

S_2 = superficie en la fecha 2

n = número de años entre las dos fechas

Análisis multivariados

Para conocer la relación entre las variables y su dependencia, se realizó un análisis de correlación lineal simple en el que, además de las clases analizadas, se integró la variable "dominio pleno" para conocer el impacto que tiene esta política pública en la deforestación. El dominio pleno es un beneficio otorgado a los ejidatarios que se da a partir de la aplicación en el ejido del Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE). Este programa deriva de las modificaciones al artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, reforma en la que el primer párrafo menciona: "La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la nación la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio directo de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada..." mismas reformas que dan origen a la nueva Ley Agraria

Nacional publicada en el año de 1992. A partir de ser beneficiarios del PROCEDE es posible ser beneficiario del reconocimiento de dominio pleno con el que se pretende dar certidumbre jurídica a la propiedad y con lo que los ejidatarios tienen la libertad de rentar o vender sus tierras, con la aplicación de este programa se buscaba incentivar la inversión en tierras agrícolas. Para conocer los ejidos con dominio pleno se obtuvo una capa en formato vectorial de los núcleos agrarios que se encontraban dentro del poligonal de los sitios de estudio, una vez enlistados, se realizó una búsqueda de cada ejido en el portal de la plataforma digital de bases de datos del Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA, 2023) perteneciente al Registro Agrario Nacional (RAN). Igualmente se solicitaron datos de las fechas del otorgamiento de los permisos a cada ejido en la Plataforma Nacional de Transparencia (PNT, 2023), solicitud dirigida al RAN. Otra variable social que se utilizó para tratar de explicar los procesos de cambio en las clases utilizadas fue la información demográfica de los censos de población y vivienda de 1990, 2010, 2020 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI). Con estas bases de datos se obtuvieron las tasas de incremento de la población para cada periodo y con esto, se proyectó la población para los años intermedios entre los censos.

Resultados

Cerro del Quinceo

Uso de suelo y vegetación

A partir de la interpretación visual realizada en los tres años de estudio, se obtuvo la superficie en hectáreas ocupada por cada una de las clases (Cuadro 1).

Cuadro 1.

Superficie en hectáreas de la cobertura vegetal y uso de suelo, en tres fechas de estudio en el cerro del Quinceo.

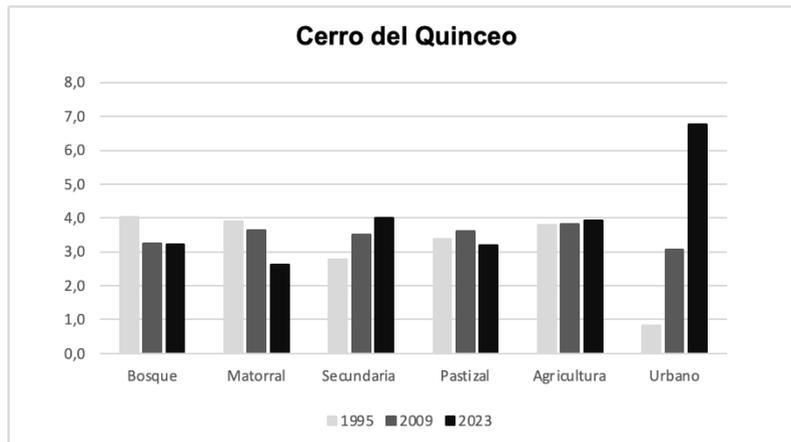
QUINCEO			
TIPO DE COBERTURA Y USO DE SUELO	1995	2009	2023
Bosque	1636	1319	1302
Matorral	844	789	570
Vegetación secundaria	938	1187	1354
Pastizal	687	733	648
Agricultura	2988	3020	3102
Urbano	16	60	132

Fuente: elaboración propia.

Al observar el porcentaje de superficie por cada clase se puede comparar el comportamiento que tuvo cada una en los años analizados. Se identifican la disminución de las coberturas vegetales, bosque y matorral y la vegetación secundaria muestra un aumento ligero para el año 2023. En cuanto a los usos de suelo, el cambio más evidente es el aumento de la superficie urbana para el año 2009 y de manera exponencial para el año 2023 (Figura 1).

Figura 1.

Porcentaje de cobertura de cada tipo de vegetación y uso de suelo en tres diferentes años analizados en el Cerro del Quinceo.



Fuente: elaboración propia.

Tasa de deforestación entre periodos

En ambos periodos se observa la disminución de la superficie de bosque y de matorral, siendo esta última más notoria para 2009-2023, además de la disminución de los pastizales. En cuanto a los usos de suelo, la agricultura muestra un aumento en los años transcurridos de 2009 a 2023 y se observa un aumento exponencial de la superficie urbana para el último periodo de análisis (Cuadro 2).

Cuadro 2.

Tasa de deforestación por periodo y por clase de vegetación y uso de suelo para el Cerro del Quinceo. Las tasas se calcularon utilizando la fórmula de la FAO, 1996.

QUINCEO		
	1995- 2009	2009-2023
Bosque	-1.5	-2
Matorral	-0.5	-3
Pastizal	0.5	-0.4
Vegetación Secundaria	2	3
Agricultura	0.1	0.3
Urbano	10	16

Fuente: elaboración propia.

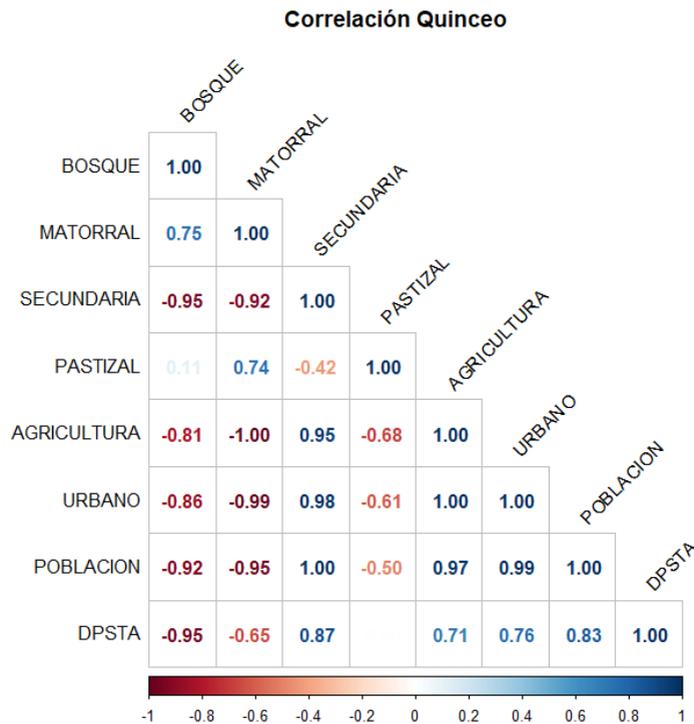
Correlación entre variables

Los resultados muestran una importante correlación entre la agricultura, el crecimiento urbano y la población, con la vegetación secundaria, se puede sugerir que este tipo de cobertura es el más utilizado para realizar actividades humanas, lo que tiene implicaciones en la recuperación

y crecimiento de mayor cobertura de vegetación. Se observa también la fuerte relación entre el aumento de la población y el suelo urbano, así como en el aumento de la agricultura. De igual manera con la superficie dotada con dominio pleno, la agricultura, el crecimiento urbano y en mayor medida con la población, lo que indica que la dinámica en las zonas agrícolas y el aumento de la población está relacionada en más de 70% y en un 83% respectivamente con los permisos otorgados en la región para obtener dominio pleno en las tierras (Figura 2).

Figura 2.

Coefficientes de correlación lineal simple entre variables. Cerro del Quinceo, Michoacán, 1995-2023.



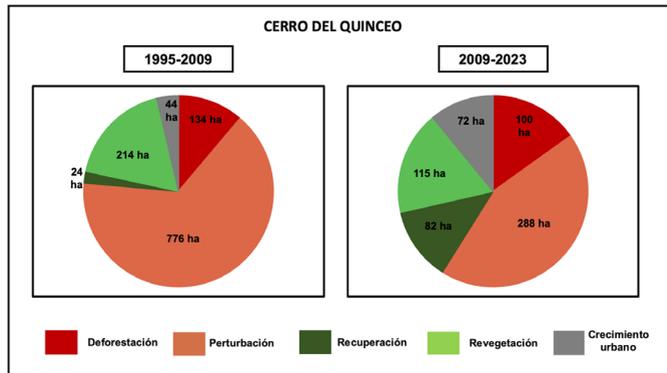
*DPSTA= se refiere a la superficie designada anualmente con dominio pleno a los ejidatarios. La figura se debe leer como una matriz conectando filas y columnas para contrastar las variables. Fuente: elaboración propia.

Cambios en las coberturas vegetales y usos de suelo

En el primer periodo analizado en el Cerro del Quinceo 1995-2009, se puede observar un fuerte proceso de perturbación en el que bosques primarios, abiertos o fragmentados se convirtieron en vegetación arbustiva, la deforestación, que contempla el cambio de cobertura de bosques primarios a suelos agrícolas o pastizales, se da en menor medida. Se presenta un proceso de revegetación con el restablecimiento de la vegetación natural en pastizales o cubiertas agrícolas abandonadas, mientras que el crecimiento urbano es muy bajo. Para el periodo 2009-2023, disminuye la perturbación y la deforestación, pero el crecimiento urbano va en aumento y notamos un aumento en la recuperación de bosques primarios (Figura 3).

Figura 3

Procesos de cambio en las cubiertas forestales y usos de suelo del cerro del Quinceo y su área de influencia, de 1995 a 2009 y de 2009 a 2023.

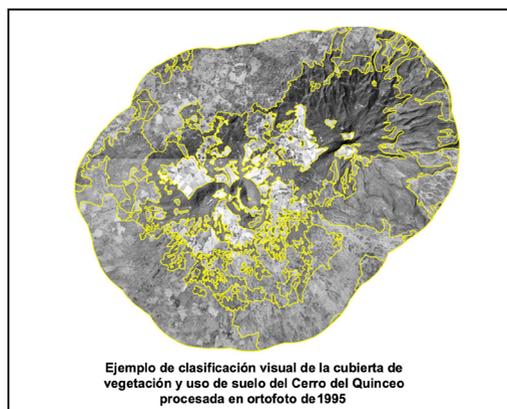


*En la gráfica se excluyó la superficie que no fue modificada/sin cambios, para visualizar mejor los procesos de cambio. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se presenta el ejemplo de la clasificación visual realizada sobre un mosaico de ortofotos del año 1995, en la que se aprecian las cubiertas de vegetación y los usos del suelo al inicio del análisis. El mapa de cambios (Figura 5) muestra que el principal proceso ocurrido en este periodo fue la perturbación de sus coberturas vegetales, sobre todo en la parte baja del cerro que es la más cercana a la mancha urbana. El crecimiento urbano es notable en la zona cercana a la ciudad de Morelia, la deforestación se puede notar en pequeñas manchas dispersas, las cuáles en su mayoría se deben al desmonte de cercas vivas que mantenían vegetación nativa, toda la superficie de color gris se mantiene sin cambios durante los 28 años de estudio. Las superficies sin cambio son en su mayoría bosques de la parte más alta del cerro, matorrales de la zona media y superficies agrícolas que no sufrieron cambios desde el inicio del análisis en el año 1995. En el mapa de cambios se muestra con una línea de color verde el polígono del área natural protegida estatal, declarada en el cerro en el año 2023 (Figura 5).

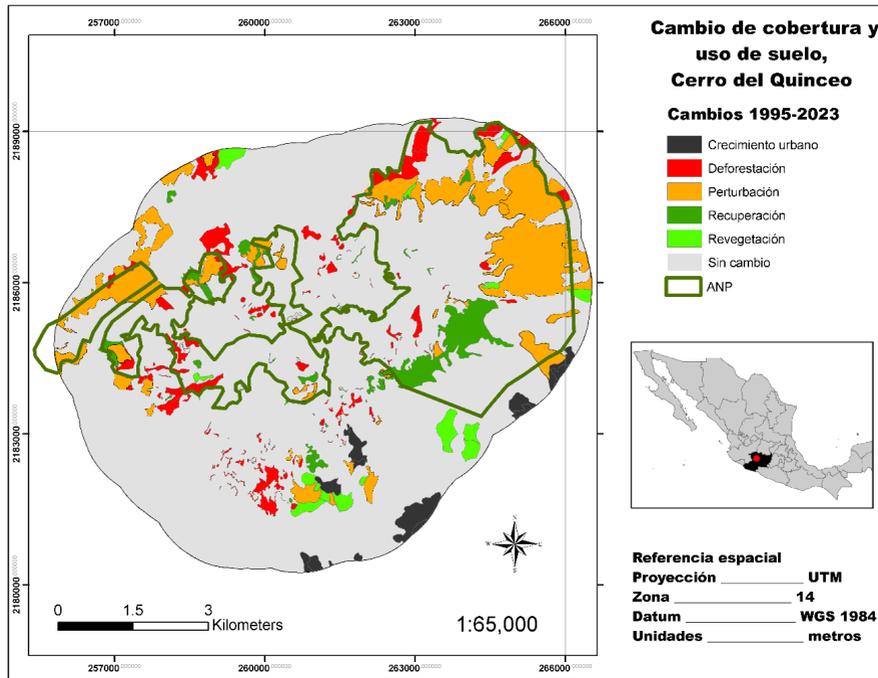
Figura 4.

Clasificación visual de la cubierta de vegetación y uso del suelo en el cerro del Quinceo, Morelia, Michoacán, en el año 1995.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.
Cambio en las coberturas de vegetación y usos del suelo del cerro del Quinceo en Morelia, Michoacán, en un periodo de 28 años.



Fuente: elaboración propia.

Modelo predictivo

Se elaboró un modelo predictivo a partir de los resultados del análisis de correlación lineal, en el que se estableció la clase “Bosque” como variable dependiente y la clase “Dominio pleno” como variable independiente. En el cuadro 3, se presenta el modelo lineal desarrollado para predecir el cambio de la superficie “bosque”, así como su valor de r^2 . El resultado muestra una fuerte relación entre la superficie de bosque y el otorgamiento de permisos en la tenencia de la tierra. El modelo predice que por 10 nuevas hectáreas que pasan a dominio pleno, se perderán 1.7 ha de bosque, o 17.5 ha de bosque por cada 100 nuevas ha de dominio pleno.

Cuadro 3.

Modelos lineales de predicción de la superficie forestal (y) a partir de la variable independiente (x) que mejor describe el cambio identificado en cada uno de los sitios estudiados.

Sitio	Variable dependiente	Variable independiente	MODELO (¿?)	r^2
Cerro del Quinceo	Bosque	Dominio pleno de tierras a ejidatarios	$y = (-0.17473225 * x) + 2365.070335$	$r^2 = 0.91$

Fuente: elaboración propia.

Cerro del águila

Uso de suelo y vegetación

En el cerro del Águila es notable la disminución de la superficie de bosque para el año 2023 en 855 ha, así como el aumento de la vegetación secundaria en los años analizados. En cuanto a los usos de suelo, la superficie de agricultura muestra un aumento para 2023 en comparación con 1995. El crecimiento urbano, aunque poco presente en la zona de estudio, aumenta su superficie para el 2023 (Cuadro 4). En la figura 6 se muestran los datos comparados por porcentaje.

Cuadro 4.

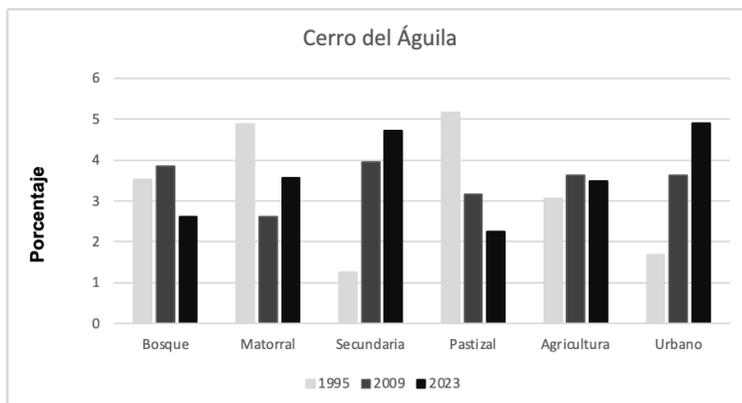
Superficie en hectáreas de la cobertura vegetal y uso de suelo, en tres fechas de estudio en el cerro del Águila, Michoacán.

CERRO DEL ÁGUILA			
TIPO DE COBERTURA Y USO DE SUELO	1995	2009	2023
Bosque	2428	2663	1808
Matorral	3543	1899	2580
Vegetación secundaria	575	1814	2176
Pastizal	1180	723	512
Agricultura	2628	3110	2991
Urbano	133	286	387

Fuente: elaboración propia.

Figura 6.

Porcentaje de cobertura de cada tipo de vegetación y uso de suelo en tres diferentes años analizados en el Cerro de Águila, Michoacán.



Fuente: elaboración propia.

Tasa de deforestación entre periodos

Los análisis muestran la pérdida de bosque, matorral y pastizal y el aumento de la vegetación secundaria. En cuanto a los usos de suelo, la agricultura tiene una ligera disminución y el crecimiento urbano aumenta en el último periodo (Cuadro 5).

Cuadro 5.

Tasa de deforestación por periodo y por clase de vegetación y uso de suelo para el cerro del Águila. Las tasas se calcularon utilizando la fórmula de la FAO, 1996.

CERRO DEL ÁGUILA		
	1995- 2009	2009-2023
Bosque	1	-2
Matorral	-4	-2
Veg. Secundaria	9	10
Pastizal	-3	-6
Agricultura	1	0.01
Urbano	6	8

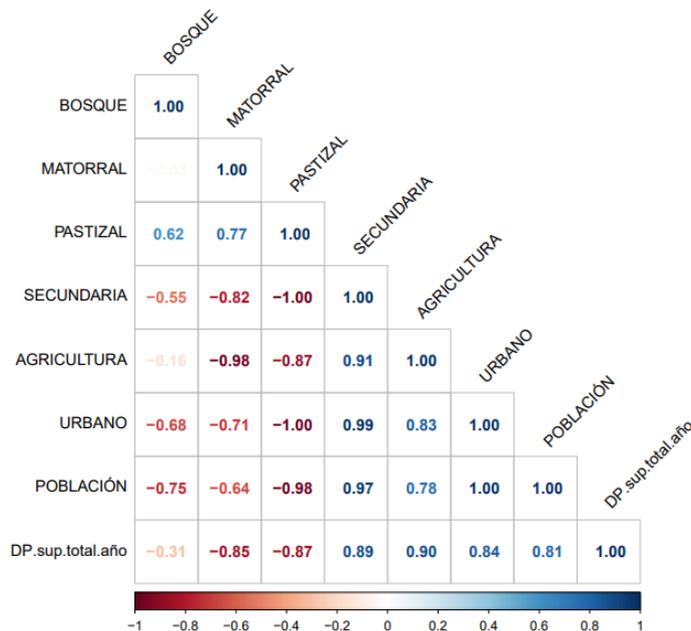
Fuente: elaboración propia.

Correlación entre variables

Al igual que en el cerro del Quinceo, en el cerro del Águila existe una importante correlación entre la agricultura, el crecimiento urbano y la población, con la vegetación secundaria. En este cerro existe una relación del 100% entre el aumento de la población y el crecimiento urbano, de igual manera, hay relación de la superficie dotada con dominio pleno y la agricultura, es decir que la dinámica en las zonas agrícolas está relacionada en un 95% con los permisos otorgados en la región para obtener dominio pleno en las tierras.

Figura 7.

Coefficientes de correlación lineal simple entre variables. Cerro del Águila, Michoacán, 1995-2023.



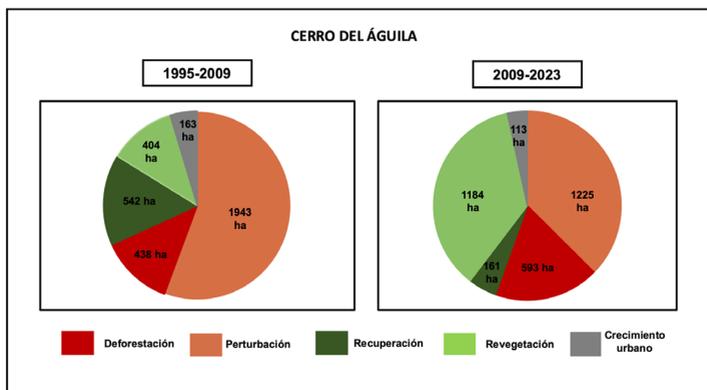
*D.P. = se refiere a la superficie designada con dominio pleno a los ejidatarios. La figura se debe leer como una matriz conectando filas y columnas para contrastar las variables. Fuente: elaboración propia.

Cambios en las cubiertas de vegetación y uso de suelo

Para el Cerro del Águila ambos periodos muestran que la perturbación es el proceso con mayor superficie, la deforestación aumenta en 155 ha para el último periodo y aunque el crecimiento urbano va en aumento esto se puede deber a que en el año de 1995 había muy pocas zonas urbanas en el cerro y aunque hubo aumento de estas, la conversión de otras cubiertas o usos de suelo no se vieron muy afectados por su expansión (Figura 8).

Figura 8.

Procesos de cambio en las cubiertas forestales y usos de suelo del Cerro del Águila y su área de influencia, de 1995 a 2009 y de 2009 a 2023.

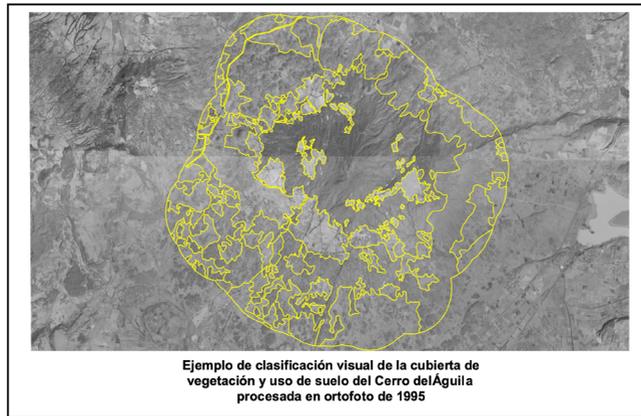


*En la gráfica se excluyó la superficie que no fue modificada/sin cambios, para visualizar mejor los procesos de cambio. Fuente: elaboración propia.

La figura 9 muestra la clasificación visual realizada en el Águila sobre una imagen ortorectificada del año 1995, en la que se muestra el estado original del cerro en ese año. El mapa de la figura 10 muestra los cambios de las cubiertas vegetales y los usos de suelo entre los años 1995-2023. Los resultados muestran que la perturbación es el principal proceso que tuvo lugar en este sitio, en la que los bosques primarios fragmentados fueron convertidos en arbustos, vegetación secundaria o pastizales. Otro proceso importante es la conversión de tierras abiertas o pastizales a zonas en recuperación con crecimiento de su arbolado. La deforestación se da en parches alrededor del cerro sin ningún patrón aparente, aunque es de notar que, al contrario del proceso de deforestación en el Quinceo, que se da en pequeños parches, en el cerro del Águila, los polígonos deforestados tienen mayor superficie, lo que indica que el proceso de deforestación se encuentra más dirigido. En el Águila existe poca recuperación de bosques y el crecimiento urbano es aislado. La línea verde indica el polígono de la ANP declarada en 2023 (Figura 10).

Figura 9.

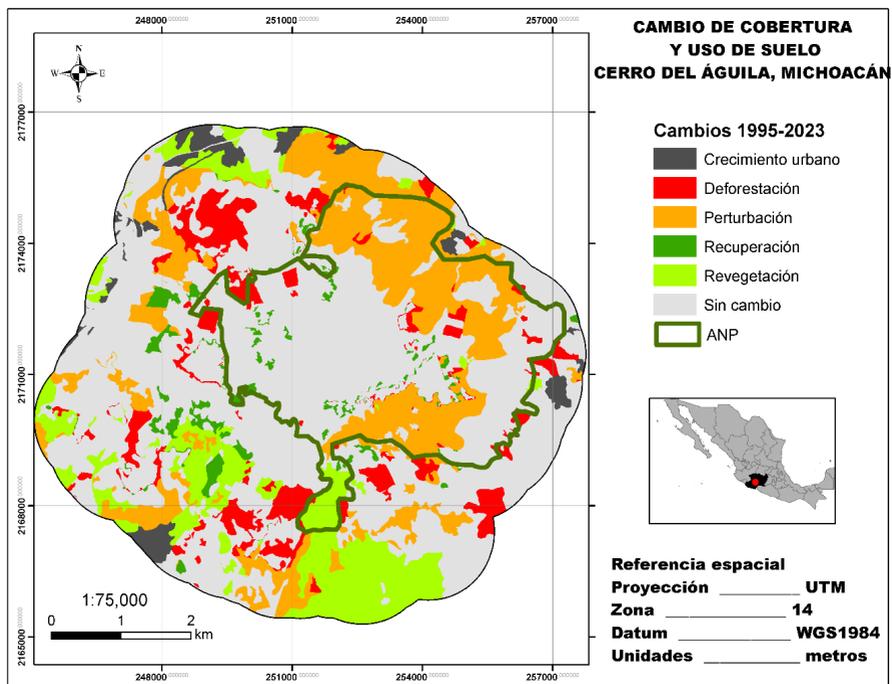
Clasificación visual de la cubierta de vegetación y uso del suelo en el cerro del Águila, Michoacán, en el año 1995.



Fuente: elaboración propia.

Figura 10.

Mapa de cambio en las coberturas de vegetación y usos del suelo del cerro del Águila en Morelia, Michoacán, en un periodo de 28 años.



Fuente: elaboración propia.

Modelo predictivo

El modelo de regresión lineal para el cerro del Águila se realizó con la categoría “Bosque” como variable dependiente y la categoría “Población” como independiente. En el cuadro 6 se presenta el modelo que predice el cambio de la superficie de esta cubierta vegetal. Los resultados nos indica que, por cada 100 nuevas personas, se perderán 3.8 ha de bosque. Si bien este modelo no muestra la robustez del modelo utilizado para el Quinceo, el valor de r^2 puede considerarse aceptable, ya que es mayor a 0.5.

Cuadro 6.

Modelo lineal de predicción de la superficie de cobertura forestal (y) a partir de la variable independiente (x) que mejor describen el cambio identificado en el cerro del Águila, Michoacán.

Sitio	Variable dependiente	Variable independiente	MODELO (¿?)	r^2
Cerro del Águila	Bosque	Población	$y = (-0.03810886 * x) + 4091.121063$	$r^2 = 0.555$

Fuente: elaboración propia.

Discusión

La estructura de ambos cerros ha ido cambiando a lo largo de los 28 años que integran el periodo de este estudio, los dos sistemas presentan una disminución de sus superficies forestales como el bosque primario y el matorral subtropical, y un aumento significativo de su vegetación secundaria y arbustiva. En el Quinceo, la agricultura tiende a aumentar la extensión que tenía en 1995, así como las zonas urbanas muestran un crecimiento exponencial, aunque la superficie urbana en este cerro es relativamente baja (132 ha para 2023). La misma tendencia presenta el cerro del Águila, pero con una mayor expansión de las superficies con vegetación secundaria. Las tasas de cambio para ambas áreas de estudio confirman la tendencia a la pérdida de las coberturas boscosas, aumento de la vegetación secundaria y de la expansión urbana, así como la tasa anual de cambio para la agricultura se mantiene relativamente estable entre los años analizados, lo que indica que este cambio ha sucedido de manera paulatina sin presentar un crecimiento exponencial en algún año o época específicos. Un factor a tomar en cuenta es que la estructura de los bosques urbanos o semiurbanos puede estar en función del tamaño y dinámica de crecimiento de las ciudades cercanas (Sanders, 1984; Osorio et al., 2015) lo que tiene repercusiones en su conservación y capacidad de otorgar servicios ecosistémicos, en el Águila y el Quinceo este proceso se ve reflejado con una relación positiva, entre el crecimiento de las superficies urbanas con el aumento de la población de la ciudad, sin perder de vista la relación altamente significativa del aumento en la población con el aumento de las superficies agrícolas.

Mantener o restaurar la estructura forestal de un sitio es importante pues al modificarse se ve afectada la productividad de los sistemas como su capacidad de recarga de acuíferos, su biodiversidad y los flujos de materia y energía, así como su valor paisajístico (Topete-Pozas, 2016; Vilela & Moschella, 2017). El Quinceo y el Águila son sistemas muy importantes como tributarios

de escurrimientos de agua para presas y pozos profundos de la ciudad de Morelia (Bahena, 2010), la continua expansión urbana a la que están sometidos, así como el uso de pesticidas y fertilizantes para la agricultura provocan la contaminación de los flujos de agua y escurrimientos. En su estudio sobre la expansión urbana en espacios naturales en Perú, Vilela y Moschella (2017), detectaron la contaminación de los cauces y escurrimientos que llegaban a humedales, así como la reducción de su superficie y espejos de agua debido al aumento de la urbanización en esas zonas naturales.

La transformación de la vegetación secundaria para tierras agrícolas y crecimiento urbano en estos cerros aporta evidencia de que este tipo de cobertura es el más utilizado para realizar actividades humanas, lo que tiene implicaciones en la recuperación y crecimiento de mayor cobertura de vegetación. La vegetación secundaria y los pastizales pueden percibirse como suelos desprovistos de árboles nativos para los agricultores, lo que podría facilitarles el cambio de uso de suelo para la agricultura o urbanización, impidiendo que se vuelvan superficies susceptibles de recuperación de coberturas arbóreas. Sin embargo, ante la tendencia al aumento de suelos con vegetación secundaria (Vaitkus & Vaitkuvienė, 2005; Pineda et al., 2009; Najera-Gonzales et al., 2010) este tipo de suelos pueden ser susceptibles a la implementación de programas de manejo sustentable, pues a medida que los bosques primarios tropicales desaparecen arrasados por las actividades antrópicas, los bosques secundarios los han remplazado supliendo muchas de sus funciones ambientales y económicas (Del Valle et al., 2010), por ejemplo, permitiendo la recuperación de la fertilidad de los suelos perdida durante las fases de cultivo en los sistemas de agricultura rotativa (Fukushima et al., 2008; Sotelo-Caro et al., 2015). Ante este escenario, los suelos agrícolas abandonados, con sucesión secundaría en el cerro del Águila y del Quinceo pueden ser susceptibles a la implementación de planes de manejo de tipo agroforestal.

En cuanto a los usos de suelo y su relación con procesos sociodemográficos, el análisis de correlación indica que el aumento de las zonas agrícolas y de la población están relacionados con la obtención del dominio pleno en las parcelas en la región. Estos programas son ampliamente solicitados en las zonas rurales del país, en particular en aquellos que presentan una presión por parte del sector inmobiliario (Pola-Villaseñor et al., 2017; Hernández et al., 2022). Debido a la obtención del dominio pleno por parte de los titulares de las parcelas, los propietarios de tierras pueden obtener beneficios económicos como resultado de su actividad productiva, pero no para la provisión de servicios ecosistémicos (Varela & Cruz, 2005). Los resultados de este estudio sugieren que los programas de gobierno y las políticas públicas implementadas para otro objetivo que no es el de conservación pueden tener efectos adversos en los ecosistemas por los procesos de deforestación y cambio de uso de suelo que desencadenan (Varela & Cruz, 2005). En un estudio realizado por Palomeque de la Cruz y colaboradores (2017) para analizar las políticas que favorecen el desarrollo económico en Villahermosa, México, concluyen que la expansión urbana fue acelerada en la cuenca baja debido a la implementación de programas de gobierno y a la aplicación de lineamientos de desarrollo económico.

En el Cerro del Quinceo, en el periodo de 1995-2009, se puede observar un fuerte proceso de perturbación en el que bosques primarios, abiertos o fragmentados se convirtieron en vegetación arbustiva, sin embargo, la deforestación de bosques primarios a suelos agrícolas en el Quinceo es dispersa y es muy probable que se deba al desmonte de cercas vivas que mantenían vegetación nativa. Para el periodo 2009-2023, disminuye la perturbación y la deforestación y notamos

un aumento en la recuperación de bosques primarios. Sin embargo, el crecimiento urbano va en aumento sobre todo en la parte baja del cerro que es la más cercana a la ciudad de Morelia, donde es notable, lo que, tal y como nos muestran los resultados del análisis de correlación lineal simple podría ser un factor de aumento en la superficie agrícola en los próximos años.

Para el Cerro del Águila, ambos periodos de estudio muestran que la perturbación es el proceso que se dio en una superficie mayor, así como un aumento de las zonas deforestadas para el último periodo, en el que los bosques primarios fragmentados fueron convertidos en arbustos, vegetación secundaria o pastizales. En contraparte, otro proceso importante que se da en el cerro es la conversión de tierras abiertas o pastizales a zonas en recuperación con crecimiento de su arbolado. La deforestación se da en parches alrededor del cerro y al contrario de la deforestación en el Quinceo, en el Águila, los parches de deforestación tienen mayor superficie lo que indica que el proceso de deforestación se encuentra más dirigido. En el Águila, el crecimiento urbano es aislado, y aunque hubo aumento de las zonas urbanas, la conversión de otras cubiertas o usos de suelo no se vieron muy afectados por esta urbanización. Sin embargo, el modelo predictivo desarrollado para el cerro del Águila, arroja que, por cada 100 nuevas personas, se perderán 3.8 ha de bosque, datos que deben ser tomados en cuenta al momento de elaborar el plan de manejo del ANP recientemente declarada en el cerro, así como en los programas de gobierno implementados en la región.

El marcado proceso de perturbación en ambos cerros, de sus bosques primarios que tenían una cobertura más abierta o se encontraban fragmentados, pone en evidencia el peligro en el que se encuentran los bosques fragmentados de ser desmontados para otros usos. De igual manera, en ambos sistemas observamos que no hay recuperación de los bosques primarios, el cerro del Quinceo muestra un mayor cambio en sus cubiertas y un aumento significativo en sus usos de suelo y el cerro del Águila se encuentra en mejor estado de conservación. Una vez que se publicaron las declaratorias de áreas naturales protegidas en el año de 2023 en ambos cerros, con los resultados obtenidos en esta investigación, resalta la trascendencia de incluirlos en los programas de reforestación implementados por Gobierno del Estado con especies nativas.

Conclusiones

En esta investigación analizamos el cambio de uso de suelo en dos importantes sistemas naturales del estado de Michoacán, los resultados pueden orientarnos para implementar estudios y programas sobre agricultura sustentable, que ayude a evitar que la expansión agrícola y la fragmentación de los bosques, afecten la estructura forestal y por lo tanto la calidad de su hábitat y de sus servicios ecosistémicos. Resulta evidente la necesidad de proteger y restaurar las zonas que aún mantienen coberturas boscosas tanto primarias como las zonas de sucesión secundaria, así como frenar los procesos de fragmentación debido a que estos bosques son los más utilizados para realizar cambio de uso de suelo. Las políticas públicas otorgadas para dar seguridad jurídica sobre la tenencia de la tierra, incentivan los procesos de deforestación al estar relacionadas significativamente con el aumento de las tierras agrícolas. Las recientes declaratorias de ANP en estos dos cerros cambiarán la dinámica planteada en este estudio si se aplican programas de manejo que tomen en cuenta de manera decisiva a las políticas públicas de derechos de propiedad y los programas de gobierno de bienestar social, además, es altamente recomendable

implementar programas de reforestación y restauración de los bosques fragmentados que aún se encuentran sin uso.

Agradecimientos

Estancia posdoctoral realizada gracias al Programa de Becas Posdoctorales en la UNAM (POS-DOC), de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), con sede en la Escuela Nacional de Estudios Superiores, unidad Morelia, otorgada al primer autor de este artículo.

Referencias bibliográficas

Achicanoy, J., Rojas-Robles, R., & Sánchez, J. L. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 41-58. <https://doi.org/10.15446/ga.v21n1.68285>

Aguilar, L. F. (2019), "Problemas y propuestas desde la gobernanza ambiental. Un estudio introductorio", en Fernando Antonio Rosete Vergés, Claudia Escalera-Matamoros, Bárbara Ayala-Orozco, Eduardo García-Frapolli y Carla Galán- Guevara (coords.), *El ciclo de políticas públicas. Casos selectos de la política ambiental mexicana para la enseñanza*, Morelia, UNAM-ENES Unidad Morelia, pp. 17-54. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD006507.pdf>

Andrade, B., Arenas, F., & Guijón, R. (2008). Revisión crítica del marco institucional y legal chileno de ordenamiento territorial: el caso de la zona costera. *Revista de Geografía Norte Grande*, 41. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022008000300002>

Ayram, C. A. C., Mendoza, M. E., & Granados, E. L. (2014). Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 7-23. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022014000300002>.

Bahena, A. (2010). Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Preservación Ecológica "Manantial La Mintzita" y su Zona de Amortiguamiento, del Municipio de Morelia, Michoacán. UMSNH, Morelia, Michoacán. <https://medioambiente.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2023/04/9a-5123cl.pdf>

Bottazzi, P., & Dao, H. (2013). On the road through the Bolivian Amazon: A multi level land governance analysis of deforestation. *Land Use Policy*, 30 (1), 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.03.010>

Ceddia, M. G., Bardsley, N., Gomez, P. S., & Sedlacek, S. (2014). Governance, agricultural intensification, and land sparing in tropical South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(20), 7242-7247. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317967111>

Challenger, A., Cordova, A., Chavero, E. L., Equihua, M., & Lima, M. (2018a). Opportunities and obstacles to socioecosystem-based environmental policy in Mexico: expert opinion at the science-policy interface. *Ecology and Society*, 23(2). <https://doi.org/10.5751/es-10066-230231>

Challenger, A., Córdoba, A. V. M., Chavero, E. L., Equihua, M., & Lima, M. (2018b). La opinión experta evalúa la política ambiental mexicana. Hacia la gestión de socioecosistemas. *Gestión y Política* 473. <https://doi.org/10.29265/gypp.v27i2.473>

Chuvieco Salinero E. (1990). Fundamentos de la teledetección espacial. (ed). Rialp. 453 p. Madrid, España. <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>.

CONABIO. (2019). La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado 2, Vol. I. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Territorial, Gobierno del Estado de Michoacán. CONABIO, CDMX. https://www.biodiversidad.gob.mx/region/eeb/estudios/ee_michoacan2

De Comunicación Social, C. G. (s. f.). Cerro del Águila, esencial para la vida de los morelianos: Secma. Michoacán. <https://www.michoacan.gob.mx/noticias/cerro-del-aguila-esencial-para-la-vida-de-los-morelianos-secma/> Consultado en 2023.

Del Valle, J. I., Restrepo, H. I., & Londoño, M. M. (2010). Recuperación de la biomasa mediante la sucesión secundaria, Cordillera Central de los Andes, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 0 (0). <https://doi.org/10.15517/rbt.v0i0.3403>

Dmd/uvq. (s. f.). Introducción a la teledetección / 3. La herramienta de la teledetección: el análisis visual y el procesamiento de imágenes. <https://static.uvq.edu.ar/mdm/teledeteccion/unidad-3.html> consultado en 2023

Domínguez, J. (2010), "Integralidad y transversalidad de la política ambiental", en José Luis Lezama y Boris Graizbord (coords.), *Los grandes problemas de México IV. Medio ambiente*, Ciudad de México, El Colegio de México, pp. 257-293. <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1657t3w>.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1996. *Forest Resources Assessment. Survey of tropical forest cover and study of change processes 1990*. (130), Rome. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5499>.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2001. *Global Forest Resources Assessment 2000*. *FAO Forestry* (140), Rome. <http://www.fao.org/forestry/site/fra2000report/en>.

Fukushima, M., Kanzaki, M., Hara, M., Ohkubo, T., Preechapanaya, P., & Choocharoen, C. (2008). Secondary forest succession after the cessation of swidden cultivation in the montane forest area in Northern Thailand. *Forest Ecology and Management*, 255(5-6), 1994-2006. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.022>

González M., Nelly, L. (2004), El Procede y el Piso en la incorporación del suelo de propiedad social a usos urbanos en los municipios conurbados de la ZMCM. *Estudios demográficos y urbanos*, 19(2): 313-375. <https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/article/view/1189/1182>.

Hernández, G. A., Rosete, F. A., Salas, L., Alvarado, L. F., Martínez, J., Sanchez, J. F. (2022), Landscape Planning for Conservation: The Case of the Flora and Fauna Protection Area "Sierra de San Miguelito", San Luis Potosi, Mexico. *Diversity*, 14, 25. <https://doi.org/10.3390/d14010025>

Hugo, G. M. V. (2015). Análisis hidroquímico, modelación de flujo e interpretación del comportamiento del agua subterránea que abastece a la zona de Morelia, Michoacán México. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/5241

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. Censos de Población y Vivienda: 1990, 2010 y 2020. <https://www.inegi.org.mx/>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. (2016b). Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión México. E14A31D1. <https://www.inegi.org.mx/>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI. (2023). Ortofotografía digital, Pátzcuaro, Cuitzeo. Michoacán, México. <https://www.inegi.org.mx/>

Josimar-Lara.(2022).Comisión Forestal del Estado de Michoacán. COFOM Miorelia.com.<https://mimorelia.com/noticias/michoacan/en10a%C3%B1osmichoac%C3%A1n-ha-perdido-350-mil-hect%C3%A1reas-de-bosque-cofom>

López-Feldman, A. (2012). Deforestación en México: Un análisis preliminar [Deforestation in Mexico: A preliminary analysis]. MPRA Paper. <https://ideas.repec.org/p/pramprapa/39082.html>

López-Granados, E. M. (2006). Patrones de cambio de uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo. Tesis de Doctorado. Posgrado de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX. https://repositorio.unam.mx/contenidos/patrones-de-cambio-de-uso-del-terreno-en-la-cuenca-de-cuitzeo-96164?c=plMmOR&d=false&q=*&i=2&v=1&t=search_0&as=2

Marín, M. E. G. (2016). La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. *Producción+Limpia*, 11(2),161-168. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a13>

Mather, A. S. (2003). Global Forest Resources Assessment 2000 Main Report. Land Use Policy, 20(2), 195. [https://doi.org/10.1016/s0264-8377\(03\)00003-6](https://doi.org/10.1016/s0264-8377(03)00003-6)

Nájera González O., Bojórquez Serrano J. I., Cifuentes Lemus J. L., Marceléño Flores S. (2010). Cambio de Cobertura y Uso del Suelo en la Cuenca del Río Mololoa, Nayarit. *Revista Biociencias*. Vol. 1: 19-2. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.01.03>

Osorio, L., Mas, J., Guerra, F. M., & Lima, M. (2015). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 88. <https://doi.org/10.14350/rig.43853>

Palmer, J. D. (1998). Forest Resources Assessment 1990: Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes. *Commonwealth forestry review*, 77(1), 55-57. <https://www.fao.org/4/w0015e/W0015E08.htm>

Palomeque de la Cruz, M. Á., Galindo Alcántara, A., Sánchez, A. J. & Escalona Maurice, M. J. (2017). Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas*, 68, 151. <https://doi.org/10.14198/ingeo2017.68.09>

Padrón e Historial de Núcleos Agrarios PHINA. (2023). Registro Agrario Nacional, RAN. México. <https://phina.ran.gob.mx/index.php>

Pico de Quinceo. (2023). https://redescolar.ilce.edu.mx/20aniversario/componentes/redescolar/publicaciones/publi_i_prodigios/pico-quinceo/quinceo.htm

Pineda N.P., Gómez J. M, Plata W. (2009). Análisis de cambio de 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. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200004

Plataforma Nacional de Transparencia, PNT. (2023). <https://www.plataformadetransparencia.org.mx/>

Pola-Villaseñor, S., Méndez-Lemus, Y. & Vieyra, A. (2017), Acceso al suelo ejidal periurbano: análisis desde el capital social. *Economía, sociedad y territorio*, 17(54):429-460. <https://doi.org/10.22136/est002017728>

Ramírez, M. I., Zubieta, R. (2005). Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Región Mariposa Monarca. Informe Técnico Final. Instituto de Geografía, UNAM, CDMX. https://awsassets.panda.org/downloads/mmonarca_analisis_cambio_forestal.pdf

Redo, D. J., Grau, H. R., Aide, T. M., & Clark, M. R. (2012). Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(23), 8839-8844. <https://doi.org/10.1073/pnas.1201664109>

Rivera, N. A., Vargas, L. A. O., & Mendoza, G. G. (2013). Evaluación de aptitud de tierras al cultivo de caña de azúcar en la Huasteca potosina, México, por técnicas geomáticas. *Revista de Geografía Norte Grande*, 55, 141-156. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022013000200010>

Rodríguez J. M. (2017). Políticas públicas. *Revista Venezolana de Enfermería*. Volumen 4, Número 2. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venf/article/view/15917

Rosete, F. A. (2008) Modelos predictivos de cambio de uso del suelo en la península de baja california, México. Tesis Doctorado. Instituto de Geografía, UNAM, CDMX. https://repositorio.unam.mx/contenidos/modelos-predictivos-de-cambio-de-uso-del-suelo-en-la-peninsula-de-baja-california-mexico-79443?c=pkAXj4&d=false&q=*&i=3&v=1&t=search_0&as=0

Rosete-Vergés, F., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21-35. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201173>

Sahagún-Sánchez, F. J., & Reyes-Hernández, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*, 12(2), 06. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v12i2.831>

Sánchez J. (coord.), (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL, Libros de la CEPAL, N° 158 (LC/PUB.2019/18-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44785-recursos-naturales-medio-ambiente-sostenibilidad-70-anos-pensamiento-la-cepal>

Sosa-Nunez, G. (2016), "Transversal environmental policies", en Gustavo Sosa-Nunez y Ed Atkins (eds.), *Environment, Climate Change and International Relations*, Bristol, E-International Relations Publishing, pp. 87-98. <https://www.e-ir.info/publication/environment-climate-change-and-international-relations/>

Sotelo-Caro, O., Chichia-González, J., Sorani, V., & Flores-Palacios, A. (2015). Cambios en la dinámica de deforestación de la subcuenca de un río en México: la imposibilidad de recuperación de los hábitats originales después del cese de la deforestación. *Revista de Geografía Norte Grande*, 61, 221-227. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022015000200012>

Topete Pozas, C. (2016). *Urbanización periférica y su efecto ambiental. El caso de las Barrancas de Cuajimalpa, Ciudad de México*. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TESO1000752230.

Vaitkus, G., & Vaitkuvienė, D. (2005). Land Cover Changes in the Lithuanian Coastal Zone During 1975–2000. *Acta Zoologica Lituanica*, 15(2), 183-187. <https://doi.org/10.1080/13921657.2005.10512400>

Varela, J. B., & Cruz, A. L. M. (2005). El PROCEDE y su impacto en la toma de decisiones sobre los recursos de uso común. *Gaceta Ecológica*, 75, 35-49. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2879645.pdf>

Vilela, M., & Moschella, P. (2017). Paisaje y expansión urbana sobre espacios naturales en ciudades intermedias. El caso de Purrumpampa en Huamachuco, La Libertad, Perú. *Paysage et expansion urbaine sur les espaces naturels dans les villes intermédiaires. Le cas de Purrumpampa à Huamachuco*, L. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*, 46(46 (3)), 529–550. <https://doi.org/10.4000/bifea.9003>

Zacarias-Eslava, L. E., Cornejo-Tenorio, G., Cortés-Flores, J. I., Castañeda, N. G., & Ibarra-Manríquez, G. (2011). Composición, estructura y diversidad del cerro El Águila, Michoacán, México. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 82(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.684>

