

Causas locales de la transformación del paisaje en una región montana del centro de México

Local causes of landscape transformation in a mountainous region in central Mexico

Leopoldo Galicia*^o, Laura Rodríguez-Bustos*

RESUMEN

El paisaje resulta de la interacción entre la estructura física del territorio y la construcción social del mismo, por lo tanto, identificar las causas locales de transformación en un paisaje permite reconocer la dinámica concordante entre estructura biofísica espacial y el proceso social. El objetivo fue analizar la dinámica de cambio del paisaje en un bosque templado en el centro de México, mediante la integración metodológica del análisis de cambio de uso de suelo y la fragmentación del paisaje con la historia ambiental del sitio, bajo un enfoque de estudio socio-ecológico. Se concluyó que las principales causas de transformación del paisaje están relacionadas con la extracción de recursos forestales maderables y no maderables, la aforestación, el turismo y algunos programas de política pública. Además que hay procesos de cambio que no están relacionados de manera directa con el bosque, sino con el aumento de la mancha urbana en los límites de la zona boscosa.

ABSTRACT

Landscape results from interaction between physical structure of territory and social construction. Therefore, identify local causes of transformation in a landscape can recognize concordant dynamic between biophysical spatial structure and social process. The aim of this work was to analyze dynamics of landscape change in a temperate forest in central Mexico, through methodological analysis integration of land use change and fragmentation of landscape with environmental history of site; with a socio-ecological approach. It was concluded that the main causes of landscape transformation are related to extraction of timber and non-timber forest resources, afforestation, tourism and some public policy programs. In addition, there are processes of change that are not related directly with the forest, but with increasing urban sprawl on edge of forested area.

INTRODUCCIÓN

El paisaje es resultado de la interacción entre la estructura biofísica del territorio y la construcción social del mismo, principalmente a través de sus actividades (agricultura, ganadería, la extracción de recursos, conservación, etc.) (Bürgi & Gimmi, 2007; López-Sabatel, 2008; Turner, 2005). Las causas que promueven el cambio de uso de suelo difieren en su origen, extensión geográfica, duración o intensidad (Lambin *et al.*, 2002), y pueden ser acciones humanas que influyen directamente y de manera inmediata en el cambio del paisaje a escala local (Antrop, 2005; Kolb, 2013; Lambin *et al.*, 2002), o estar relacionadas con procesos sociales que ocurren lejos del sitio, como la demanda de recursos naturales por mercados regionales (Geist & Lambin, 2001). Por lo tanto, el uso de suelo, las prácticas de manejo, la política pública ambiental, la accesibilidad y la cercanía a centros urbanos y mercados son algunas de las causas que determinan el cambio de uso y modifican la estructura y composición del paisaje (Antrop, 2005; Edman, Angelstam, Mikusinski, Roberge & Sikora, 2011; Gobattoni, Pelorosso, Lauro, Leone, & Monaco, 2011). Sin embargo, el entendimiento integrado de los procesos humanos que transforman el paisaje y las interacción entre diversos conductores de cambio permanecen poco entendidas debido su complejidad (Turner, 2005; Echeverría, Newton, Nahuelhual, Coomes & Reyes-Benayas, 2012).

Recibido: 15 de enero de 2016

Aceptado: 6 de octubre de 2016

Palabras clave:

Bosque templado; paisaje; historia ambiental; fragmentación.

Keywords:

Temperate forest; landscape; environmental history; fragmentation.

Cómo citar:

Galicia, L., & Rodríguez-Bustos, L. (2016). Causas locales de la transformación del paisaje en una región montana del centro de México. *Acta Universitaria*, 26(6), 83-94. doi: 10.15174/au.2016.1168

* Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Avenida de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, C.P. 04510. Tel.: (55) 562 302 22, ext. 45505 y 45507. Correos electrónicos: lgalicia@igg.unam.mx; geolaur Galicia@gmail.com

^o Autor de correspondencia.

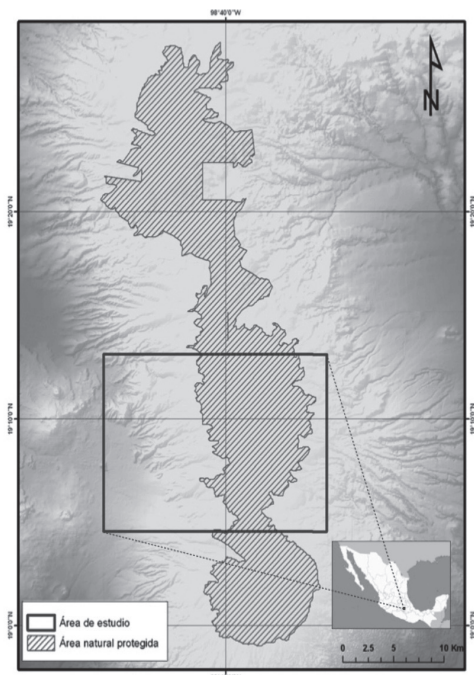


Figura 1. Mapa de localización. El área de estudio se muestra dentro del recuadro sobre la zona centro de la región Izta-Popo.
Fuente: Elaboración propia.

Los estudios de cambio de uso de suelo (CUS) reconocen ejes conductores de la transformación y permiten estimar magnitudes de cambio en superficie y la configuración espacial en el paisaje (Frosini, Vettorazi & Theobald, 2009; Kamukoso, Aniya, Adi & Manjoro, 2009; Tasser, Ruffini & Tappeiner, 2009), sin embargo, no incluyen un análisis formal del registro de cambios en la dinámica de procesos sociales y limita entender las causas de los cambios espaciales observados (McDonnell & Pickett, 1993). Una aproximación de estudio bajo un enfoque de estudio socio-ecológico proporciona mayor comprensión de los procesos de transformación del paisaje y sus causas, porque permite comparar la estructura espacial del paisaje con eventos de cambio relacionados con la dinámica de procesos sociales (Bürgi, 1998; Bürgi & Russell, 2011; Gibon, Sheeren, Monteli, Ladet & Balent, 2010). Reconocer este tipo de procesos es un reto importante en países tropicales (Campos *et al.*, 2012), y esto podría comprometer el mantenimiento de la oferta de recursos naturales y la prestación de servicios ecosistémicos (Challenger, 1998; Golobič, 2010).

En la región Izta-Popo habitan 1 559 796 personas, la población ha crecido de manera significativa en los últimos años y en los límites del Área Natural

Protegida (ANP) existen al menos 808 comunidades asentada (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2010). Los cambios de uso de suelo son resultado de la promoción de la ganadería extensiva, la expansión de la frontera agrícola y el crecimiento del uso de suelo urbano (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp], 2013). También se ha modificado la disposición de agua y recursos forestales, la extracción de recursos no maderables no está moderada y a pesar de su prohibición existe la caza (Conanp, 2013). Sin embargo, los estudios que han considerado la información histórica de los bosques templados es escasa, por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar las causas locales del cambio de cobertura y uso del suelo (CCUS) y la dinámica de la fragmentación del paisaje de bosque templado en la zona centro de la región Izta-Popo durante el periodo 1980-2013.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se extiende sobre la parte central de la región Izta-Popo, 50 km al este de la Ciudad de México en la Sierra Nevada, donde se encuentran el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl que forman el ambiente de la región (Bobbink, Heil & Trigo, 2003) (figura 1). En esta región se localiza el remanente de bosque templado más importante del centro de México, donde se reportan el 45% de las 2071 especies vegetales clasificadas en el Valle de México (Chávez & Trigo, 1996; Rzedowski, 2006). El decreto del Parque Nacional Izta Popo (PNIP) se promulgó en 1935, estableciendo como límite inferior la curva de nivel de los 3000 m, que cubre una superficie de 39 819 ha, distribuidas entre el Estado de México, con 28 307 ha (71.09%), Puebla con 11 073 ha (27.815) y Morelos con 438 ha (1.10%) (Conanp, 2013; Bobbink *et al.*, 2003).

El área de estudio se extiende en un gradiente altitudinal que representa un modelo de las regiones de montaña, y permite entender cómo los programas de conservación de los bosques templados en la región Izta-Popo influyen en los procesos de urbanización. En la parte baja del área de estudio (2200 msnm) se encuentran asentamientos urbanos consolidados como Amecameca, y poblados como San Pedro Nexapa (Pisanty, Mazari & Ezcurra, 2006). Históricamente, el área estaba cubierta por bosques, pero en la actualidad corresponde a una zona vecinal que ha sido utilizada para agricultura, ganadería, fruticultura y desarrollo urbano (Chávez & Trigo, 1996). La agricultura se desarrolla en los valles y pie de monte debido a su accesibilidad y baja pendiente del terreno (Chávez & Trigo, 1996);

entre los 2400 msnm y los 3500 msnm se distribuye el bosque de Oyamel y la especie dominante es *Abies religiosa* (Challenger, 1998, Chávez & Trigo, 1996). Entre los 3000 msnm y 3400 msnm se extiende el bosque de pino-encino, donde destaca *Pinus montezumae*, frecuentemente asociada con especies de los géneros *Quercus*, *Abies*, *Arbutus*, *Alnus*, *Salix* y *Buddleia* (Challenger, 1998; Chávez & Trigo, 1996). En partes más elevadas, entre los 3400 msnm –3800 msnm, se extiende el bosque de *Pinus hartwegii*, y hasta los 4400 msnm *Pinus hartwegii* establece el límite superior del bosque dentro del área de estudio (Torres-Beltrán, 2013) asociado con gramíneas de los géneros *Agrostis*, *Bromus*, *Calamagrostis*, *Festuca* y *Muhlenbergia* (Challenger, 1998; Chávez & Trigo, 1996; Rzedowski, 2006). La zona con vegetación alpina se establece entre los 4400 msnm –4800 msnm, donde predomina la pradera de alta montaña, también conocido como zacatonal alpino; son gramíneas de los géneros *Agrostis*, *Bromus*, *Calamagrostis*, *Festuca* y *Muhlenbergia* (Challenger, 1998; Chávez & Trigo, 1996; Rzedowski, 2006). En el último piso altitudinal de los 4800 al punto más alto de 5280 msnm no hay cobertura vegetal, los glaciares son perennes y se distribuyen 6 km de longitud sobre el Iztaccíahuatl (Torres-Beltrán, 2013).

Reconstrucción de la historia ambiental

Para identificar las causas locales de transformación del paisaje se reconstruyó la historia ambiental del área de estudio para el periodo 1980-2013, integrando información del plan de manejo del ANP, censos de población y censos económicos con información obtenida a través del registro de la historia oral de los usuarios del paisaje, colectada a través de entrevistas semiestructuradas con usuarios del paisaje en la región. Esta información se complementó con observaciones directas realizadas en recorridos de campo con los usuarios del paisaje (Ballester, Orte & Oliver, 2003).

El formulario se aplicó a tres grupos de informantes clave. El primero lo conformaron los guardaparques del PNIP, las respuestas se registraron escritas en cada formulario. El segundo grupo fue el de los administrativos de la Conanp en Amecameca, y recibió el mismo formulario vía correo electrónico y las respuestas se recibieron en formato de texto. El tercer grupo fueron los habitantes del área de estudio, respondieron el mismo formulario en salidas de campo donde los entrevistados recorrieran alguna zona de la ANP o de su localidad, las respuestas fueron explicaciones extensas registradas en formato de audio y texto.

El diseño del formato de entrevista consistió en un formulario con preguntas abiertas. Esto permitió una mayor participación del entrevistador y un diálogo con los usuarios de tiempo ilimitado (Gelifus, 1997). Durante la aplicación de las entrevistas y en los recorridos de campo se invitó al entrevistado a recordar su relación con el paisaje y a reconstruir la primera vez que visitó la región o sus primeros recorridos por el bosque. Las preguntas que se plantearon estaban orientadas a reconocer su percepción de los cambios en el paisaje: ¿Tienes propiedades en la región?, ¿qué uso le das a tu terreno?, ¿cuál ha sido el cambio más grande que has visto reflejado en el paisaje?, ¿cuál crees que sea el origen de este cambio?, ¿cuáles son los principales recursos extraídos del bosque?, ¿cuáles actividades productivas piensas que no afectan el paisaje de la región? y ¿cuáles actividades productivas piensas que afectan el paisaje de la región?

Las entrevistas se obtuvieron de forma individual durante el verano de 2013, y un mes más tarde se registraron respuestas en conjunto, durante una reunión del consejo del PNIP donde asistieron habitantes, guardaparques y administrativos. De este modo se logró un ejercicio de reflexión acerca de la relación de los entrevistados con el paisaje, y la información recuperada se utilizó para identificar las causas locales de cambio en el paisaje de acuerdo con la percepción de los usuarios.

Estudio de coberturas / Cambio de Uso de Suelo (CUS)

Con el propósito de comparar la historia oral de los cambios en el paisaje con información producida por otro tipo de métodos, se elaboraron mapas de CUS para el mismo periodo de estudio; se utilizó como base el conjunto topográfico escala 1:50 000 de las cartas E14B41 y E14B42 del INEGI (2010) en formato vectorial y un modelo digital de elevación (MDE) elaborado a partir de curvas de nivel cada 20 m.

Los mapas muestran una clasificación no supervisada, con interpretación visual a partir de imágenes de satélite Landsat (*United States Geological Survey* [USGS], 2013) empleando tres bandas (rojo, verde y azul) de los sensores para facilitar su interpretación (Ding, Wang, Wu, Zhou, Shi & Ding, 2007; Fernández-Coppel & Herrero-Llorente, 2001). Para los mapas de 1980, 1990 y 2000 se utilizaron imágenes del sensor TM (Thematic Mapper) con claves LT50260471986031AAA10, LT40260471989034XXX02, LT50260472001027XXX02 (USGS, 2013), respectivamente, con la combinación

de bandas 3, 4 y 5. Para el 2013 se utilizó la imagen con clave LC80260472013108LGN01 del sensor OLI/TIRS (Operational Land Imagery) (Thermal Infrared Sensor) (USGS, 2013) con la combinación de bandas 4, 5 y 6 (Fernández-Coppel & Herrero-Llorente, 2001). La rectificación del mapa de CUS 2013 se realizó en campo (Ding *et al.*, 2007). Los mapas finales de CUS integran seis clases, bosque de pino-encino, pradera de alta montaña, uso agrícola, uso urbano, pastizal inducido y sin cobertura, en cuatro años distintos: 1980, 1990, 2000 y 2013; se presentan en escala 1:50 000 en formato vectorial utilizando como base el MDE. A partir de estos se calcularon dos indicadores del cambio de superficie: 1) el área por tipo de cobertura/uso de suelo y 2) la tasa de cambio (k), que determina el porcentaje de cambio anual para cualquier clase de cobertura (*Food and Agricultural Organization* [FAO], 2010; García-Romero, Mendoza-Robles & Galicia, 2005; Olson, Misana, Campbell, Mbonile & Mugisha, 2004).

$$k = [(X1/X0)^{1/n}] - 1.$$

Donde k es la tasa de cambio, $X0$ es el área de cobertura al inicio del periodo, $X1$ es el área de cobertura al final del periodo y n es el periodo expresado en años.

Evaluación de la fragmentación del paisaje

Para conocer el proceso de fragmentación del paisaje se evaluó su configuración y composición mediante el procesamiento de los mapas de CUS en *Fragmentation Statistics* (FRAGSTATS) (UMASS, 2013). A nivel de paisaje (toda el área de estudio) los descriptores fueron: (1) el número de parches (NP), como una medida de configuración espacial que se cuantifica con el número total de parches de todas las clases (Botequilha-Leitao, Miller, Ahren & McGarigal, 2006; McGarigal & McComb, 2005). Este descriptor se determina con la siguiente fórmula:

$$PN = \sum_{i=1}^i p_i. \quad (1)$$

La densidad de parches (PD), la cual es una medida que normaliza los resultados de NP, cuantificando el número de parches por unidad de área (ha) (Botequilha-Leitao *et al.*, 2006; McGarigal & McComb, 2005), se calcula con la siguiente fórmula:

$$PD = \frac{PN}{A} \times (10\ 000) \text{ m}^2 \text{ ha}. \quad (2)$$

A nivel de clase, los descriptores fueron: (1) el número de parches, que cuantifica el número total de fragmentos de cada clase dentro del paisaje (Botequilha-Leitao *et al.*, 2006), (2) el promedio de área, que evalúa a cada parche tomando como base

su tamaño en relación con el área total de su clase, de modo que los parches con mayor superficie arrojan valores más altos (Botequilha-Leitao *et al.*, 2006; McGarigal & McComb, 2005), se determinó con la siguiente fórmula:

$$AREA_AM = \sum_{j=1}^n \left[a_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]. \quad (3)$$

El promedio de proximidad es un indicador sin unidad de medida que integra información acerca del tamaño y la distancia entre parches de la misma clase (Botequilha-Leitao *et al.*, 2006; McGarigal & McComb, 2005), se determinó con la siguiente fórmula:

$$PROX_AM = \sum_{j=1}^n \left[x_{ij} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right].$$

RESULTADOS

Causas locales del cambio en el paisaje

El sistema socio-ecológico del paisaje está compuesto por la dimensión ecológica del sistema y está integrado por el bosque, su prestación de servicios ecosistémicos y la producción de recursos naturales, mientras que la dimensión social del sistema está integrada por los usuarios del paisaje, en este caso, los habitantes de la región Izta-Popo, los administrativos del ANP y los turistas. Las principales interacciones entre ambos sistemas se establecen a través del manejo y extracción de recursos naturales, de modo que cada una de las actividades en el sistema social transforma la estructura del bosque y, por tanto, modifica la disposición de recursos naturales para los usuarios (figura 2).

Los usuarios del paisaje identifican tres tipos de cambios en el paisaje. El primero es la modificación del paisaje, este tipo de cambio es percibido por los usuarios en la distribución del bosque y en la abundancia de recursos naturales. Estas modificaciones son resultado de actividades como la extracción de recursos forestales y no forestales, la reforestación y la aforestación. En el caso de la extracción de Recursos Forestales No Maderables (RFNM), la modificación sustancial ocurre a partir de 1990, cuando la extracción de recursos se transforma de autoconsumo a comercial. La extracción en la actualidad se realiza por comerciantes de la zona metropolitana del Valle de México para fines comerciales. La caza de animales conserva la cobertura, pero modifica la disposición de algunas especies utilizadas como recursos por los organismos del bosque y por los usuarios del paisaje. La caza

aún se practica en la región, pero los usuarios señalan que es mínima debido a las restricciones de la Conanp. Por otra parte, los trabajos de reforestación aseguran la permanencia de la cobertura forestal, pero han modificado la composición de especies del bosque, en el caso de la aforestación es identificada dentro del PNIP en las zonas de pradera de alta montaña (figura 3).

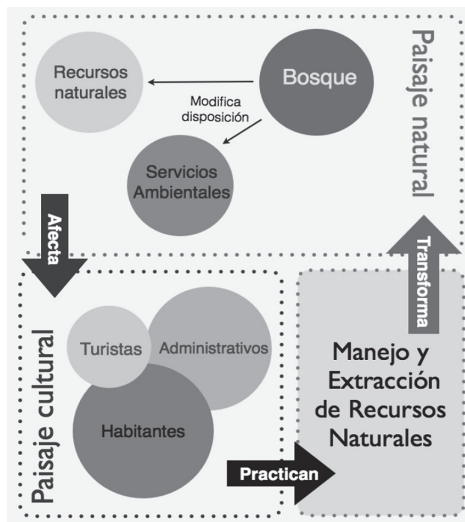


Figura 2. Interacciones del sistema socio-ecológico en el sitio de estudio. Fuente: Elaboración propia.

El segundo tipo de cambio es la conversión del paisaje, promovida por actividades como la tala ilegal, la agricultura, la ganadería y la construcción de tinas captadoras de agua (figura 3). La tala es una actividad ilegal de extracción de madera y constituye el inicio del proceso de transformación del paisaje, porque remueve la cobertura natural. En el caso de la agricultura y la ganadería, son actividades que convierten la cobertura natural en usos de suelo orientados a la producción de alimento. Otras prácticas, como la construcción de tinas captadoras de agua, remueven la cobertura natural y alteran las propiedades edáficas a escala del paisaje, afectando extensas áreas de pradera de alta montaña localizadas dentro del ANP.

El tercer tipo de cambio es la intensificación en el uso del paisaje, el cual está relacionado con las actividades turísticas del parque, como el alpinismo, la caminata de alta montaña y la construcción de infraestructura. El alpinismo y la caminata de alta montaña no son actividades que modifiquen la cobertura natural, pero promueven el mantenimiento de caminos y construcciones (albergues, comedores, cabañas) que dividen la estructura del paisaje. La construcción de fraccionamientos es una actividad que remueve totalmente la cobertura natural e impulsa la permanencia y extensión del uso de suelo urbano (figura 3).

Algunos cambios identificados en el paisaje son percibidos solo por un sector de usuarios. De acuerdo con los habitantes de la región, el cambio más significativo en el paisaje es el aumento de la población y del uso de suelo urbano a partir de 1990, cuando la región empezó a poblarse con nuevos habitantes provenientes de municipios vecinos. Este evento modificó la dinámica de cambio de uso de suelo e inició la tendencia de fraccionar los terrenos agrícolas para sustituirlos por viviendas. La información censal confirma la percepción de los habitantes, y señala que en el municipio de Amecameca la población aumentó entre 1980 y 2013, siendo el periodo 1990-2000 el de crecimiento más significativo. En 1980, esta región tenía un población total de 31 621 habitantes, en 1990 de 36 321, en 2000 aumentó a 45 255, y en el censo 2010 su población total es de 48 421. Los guardaparques indican que el segundo cambio significativo ocurre en 1994, cuando se extingue el glaciar del volcán Popocatepetl; antes de ese año existían tres glaciares al noroeste del cráter del Popocatepetl, hoy en día solo quedan algunos restos del glaciar norte que cubren al volcán de forma estacional, lo cual influye significativamente en las actividades turísticas que se desarrollan en el parque.

Tipo de Cambio	Actividad	Impacto sobre el paisaje
Modificación	Reforestación	Simplificación de especies vegetales
	Extracción de recursos Comercio	Cambio en la disposición de recursos naturales
	Extracción de recursos Autoconsumo	Cambio en la disposición de recursos naturales
	Incendios	Cambio en la composición de especies
	Caza	Cambio en la disposición o extinción de especies animales
Conversión	Agricultura	Desmonte de la cobertura con vegetación natural
	Ganadería	Desmonte de la cobertura con vegetación natural
	Tala	Desmonte de la cobertura con vegetación natural
Intensificación	Alpinismo	Permanencia de brechas, senderos y refugios que dividen el paisaje
	Caminata de alta montaña	Permanencia de brechas y senderos que dividen el paisaje
	Construcción de fraccionamientos	Permanencia y extensión del uso urbano del suelo

Figura 3. Proceso de transformación típico del paisaje. En la figura se muestran los cambios percibidos por los usuarios en el paisaje de la zona centro de la región Izta-Popo agrupados por el tipo de cambio. Fuente: Elaboración propia.

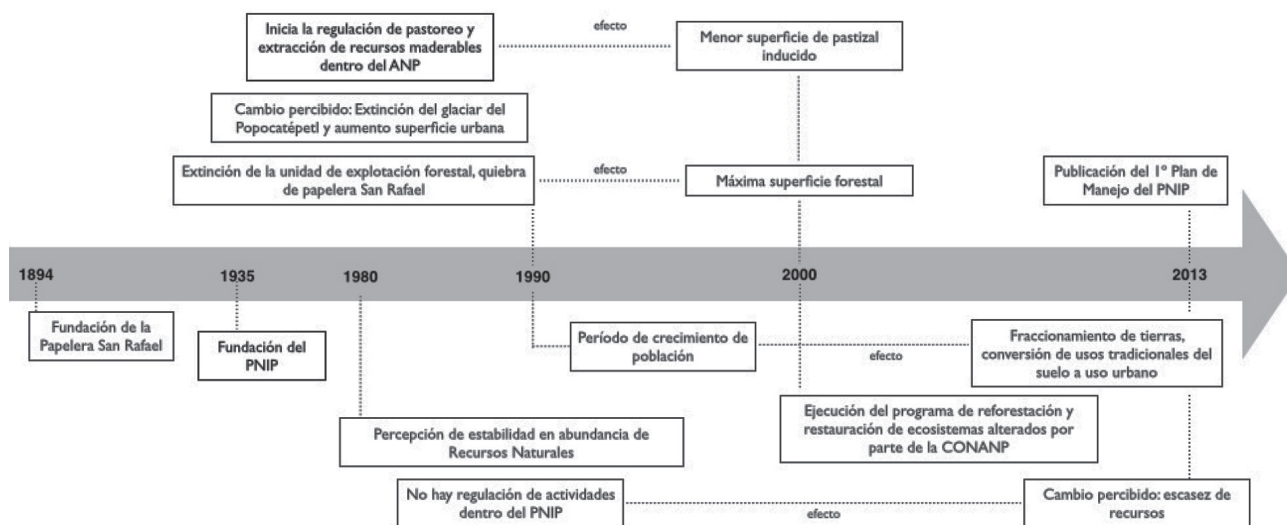


Figura 4. Línea de tiempo del sistema socio-ecológico del paisaje en la zona centro de la región Izta-Popo. Destacan eventos relacionados con el uso y manejo del bosque. Fuente: Elaboración propia.

Este tercer cambio percibido por los administradores del ANP está relacionado con el aumento de la superficie con cubierta forestal en el 2000. Este cambio se visualiza en el análisis cronológico del sistema socio-ecológico del paisaje, donde los resultados muestran que el bosque de pino-encino crece en extensión a partir de la quiebra económica de la papelera San Rafael, la extinción de la unidad de explotación forestal y el inicio de la regulación en la extracción de recursos maderables en 1990 (figura 4). En el 2000 se ejecutó el programa de restauración y reforestación de ecosistemas alterados implementado por la Conanp; esta actividad coincide con la máxima extensión de bosque registrada para el periodo de estudio. A partir de la implementación de este programa se rehabilitaron entre 2002 y 2012, un total de 5000 ha, con una plantación aproximada de cinco millones de árboles (Conanp, 2013) (figura 4). Para el mismo año, la disminución significativa del pastizal inducido está relacionada con la regulación del pastoreo de ganado; no obstante, en 1980 esta actividad, practicaba dentro del área de estudio, quedó prohibida dentro del ANP en 1990 (figura 4).

Análisis del cambio de uso de suelo entre 1980 y 2013 en el Parque Izta-Popo

Las superficies de las coberturas de vegetación y uso de suelo variaron en las 33 000 ha que ocupa el área de estudio en el periodo 1980-2013, y en todos los años el bosque ocupó la máxima extensión (figura 5) (tabla 1). La tasa de cambio (k) de la cobertura de bos-

que de pino-encino fue de 0.77% para el periodo 1980 – 1990, 0.51% para el periodo 1990 – 2000 y –0.55% para el periodo 2000 – 2013. Estos resultados están relacionados con la efectividad de la ANP para contener la deforestación y al mismo tiempo implementar programas de reforestación a partir de 1990. La tasa de cambio de la cobertura urbana se incrementó en los tres periodos, y entre 1990 – 2000 tuvo la mayor tasa de cambio positiva del paisaje (0.09%). El análisis espacial muestra que los espacios urbanos son los de menor extensión y se concentraban fuera del PNIP, entre 1990 – 2000 los espacios urbanos ocuparon zonas con usos tradicionales, como la agricultura y pastizales. El cambio a uso agrícola presentó una tendencia descendente a lo largo de los tres periodos, su pérdida más significativa fue en el periodo 2000 – 2013, con una tasa de –0.01%. De acuerdo con los usuarios del paisaje, esto es resultado de la conversión de zonas agrícolas a urbanas. El pastizal inducido tiene pérdidas y ganancias, pero el cambio más significativo ocurre en el periodo 1980 – 1990, con la tasa de cambio negativa más elevada a nivel de paisaje (–0.09%). Estos resultados coinciden con la regulación de la ganadería a partir de 1990, dentro y en los límites de la ANP. La pradera de alta montaña redujo su cobertura entre 1980 – 1990, la tasa de cambio fue de –0.01%, y entre 1990 – 2013 mantuvo una tasa de cambio de –0.02% (tabla 1). Las observaciones directas en campo sugieren que la fragmentación de la pradera de alta montaña dentro del PNIP es resultado de un proceso de aforestación, donde algunas plantaciones de pino se han establecido sobre esta cobertura natural.

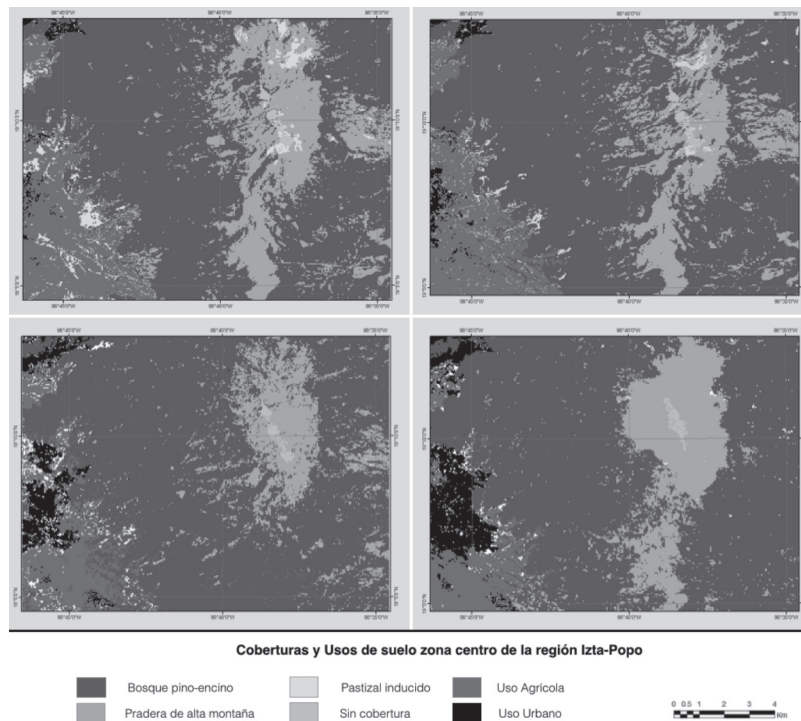


Figura 5. Mapas de coberturas/ usos de suelo de la zona centro de la región Izta-Popo fechados en 1980, 1990, 2000 y 2013.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.

Superficie y tasa de cambio (k) para cada año de estudio de las coberturas/ usos de suelo en la zona centro de la región Izta-Popo.

Clase	Área (ha) 1980	k	Área (ha) 1990	k	Área (ha) 2000	k	Área (ha) 2013
Bosque Pino-encino	20701	0.0077	22366	0.0051	23550	-0.0055	22283
Pradera de Alta Montaña	6760	-0.0149	5814	-0.0294	4311	0.0282	5695
Agrícola	4435	-0.0063	4161	-0.0170	3505	-0.0183	2911
Pastizal inducido	970	-0.0978	346	0.0563	598	-0.0592	325
Urbano	304	0.0471	483	0.0957	1206	0.0495	1956
Total	33170		33170		33170		33170

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de la fragmentación del paisaje en el parque Izta-Popo

La transición de los valores de NP muestra que la configuración del paisaje es dinámica y sugiere que el grado de fragmentación ha disminuido entre 1980 y 2013. La fragmentación a nivel de clase fue significativa para el bosque de pino-encino y el uso urbano, el bosque de pino-encino es la matriz del paisaje, por tanto ocupa la mayor superficie, el mayor NP y sus parches son los más grandes en comparación con otras clases.

Los resultados del promedio ponderado de área indican que en 1990 y 2000 los parches de bosque son más grandes en comparación con los de 1980 y 2013. Sin embargo, los resultados de proximidad muestran que durante 1980, 1990 y 2000 los parches de bosque conservaron el mismo grado de aislamiento, pero en 2013 el valor de proximidad aumentó, sugiriendo una cobertura con parches más conectados entre sí (tabla 2).

El uso de suelo urbano, a diferencia de otras clases, muestra valores positivos para su permanencia en el tiempo en cada uno de los indicadores. De hecho, es

la única cobertura que tiene una extensión geográfica mínima, pero se caracteriza por tener parches más grandes y más conectados, indicando la consolidación y homogeneización del desarrollo urbano entre 1980 – 2013 (figura 6) (tabla 2). La conectividad del uso agrícola disminuyó continuamente, sugiriendo un aumento de fragmentación y aislamiento, y en 2013 alcanzó su valor más bajo con 0.12 ha (figura 6); esta clase está poco conectada y a partir del año 2000 inició una etapa de retroceso. La agricultura es la única que en cada año evaluado disminuyó en superficie y NP, al mismo tiempo que aumentó su grado de aislamiento (tabla 2). El conjunto de indicadores de fragmentación muestran resultados poco favorables para la conservación de la pradera de alta montaña, durante el periodo 1980 – 2013 tiene menor NP y menor extensión, sugiriendo un aislamiento constante (tabla 2). La clase de pastizal es la de menor superficie, menor número de parches, más pequeños y más aislados, lo que sugiere un claro retroceso del proceso de unificación entre sus parches (tabla 2); esta clase de cobertura es utilizada para el pastoreo de ganado y su dinámica de cambio está relacionada con la regulación de su práctica dentro del área de estudio.

DISCUSIÓN

Algunas causas locales del CCUS

A nivel global, las áreas boscosas representan un “seguro” fundamental para las personas que viven del bosque y obtienen de él sus alimentos y energía (Nascimento, 1991; Peterson, Gélinas & Potvin, 2013); sin embargo, estas mismas actividades son las responsables de la transformación del paisaje. En las zonas de montaña, el aumento en la extracción de recursos naturales es una de las principales causas de transformación del paisaje, porque estas zonas funcionan

como la base de provisión de recursos para la población local (Bürgi, Gimmi & Stuber, 2013). Por otra parte, en México la colecta de RFNM aumentó su volumen de extracción en la última década por la expansión del mercado de productos naturales (Lambin, Geist & Lepers, 2003). Particularmente, en la zona centro de la región Izta-Popo la extracción de RFNM se intensificó entre 1980 y 2013, al principio estuvo orientada al autoconsumo y a partir del 2000 aumentó el volumen de extracción para cubrir la demanda de productos en mercados locales y regionales. Como consecuencia de la sobreexplotación de los RFNM, las comunidades señalan que al menos tres tipos de RFNM se perciben como menos disponibles, hongos (*Boletus edulis* y *Radiigera fuscogleba*), algunas plantas medicinales (árnica y anís) y mamíferos del bosque (*Odocoileus virginianus* subsp., *mexicanus*, *Romerolagus diazi* y *Sylvilagus cucularius*). Algunos autores señalan que la modificación del volumen de extracción afecta procesos a escala de comunidad ecológica y del ecosistema (Galetti & Alexio, 1998). Ante esta situación, es indispensable vigilar el volumen de extracción de RFNM del bosque y privilegiar la colecta para los usuarios locales del paisaje sobre los comerciantes de mercados regionales.

La regulación de la ganadería y la reducción de la agricultura han propiciado la disminución en la magnitud de CCUS (García-Barrios, García-Barrios, Waterman & Cruz-Morales, 2011). La ganadería pasó de ser extensiva a ser una práctica más localizada espacialmente, y su regulación ha influido en su erradicación en el área de estudio, y particularmente en el ANP. En 1990, el acceso de ganado al Parque Izta-Popo quedó prohibido y se reguló el pastoreo en las zonas limítrofes con la ANP para proteger áreas reforestadas y rehabilitadas dentro del bosque. Estos resultados son contrarios a lo reportado en bosques tropicales, donde la ganadería es importante culturalmente y su reducción no es deseada debido a su papel en los medios de

Tabla 2. Métricas del paisaje a nivel de clase en 1980, 1990, 2000 y 2013 en la zona centro de la región Izta-Popo.

Año	1980			1990			2000			2013		
	NP	PA (ha)	PROX	NP	PA (ha)	PROX	NP	PA (ha)	PROX	NP	PA (ha)	PROX
Bosque Pino-encino	337	1.05	323	289	2.11	228	414	2.21	291	191	1.16	615
Pradera de alta montaña	1075	0.29	186	1002	0.18	321	690	0.18	124	648	0.42	131
Agrícola	203	0.32	77	190	0.32	58	714	0.13	138	398	0.12	95
Pastizal inducido	232	0.0004	8	132	0.002	3	508	0.0006	3	347	0.0002	1
Urbano	70	0.004	5	90	0.14	13	98	0.44	30	116	0.11	28

Fuente: Elaboración propia.

subsistencia de las personas (Geist & Lambin, 2001; Watson, Luck, Spooner & Watson, 2014). Los resultados de la evaluación del paisaje y las entrevistas con los habitantes indican que en 1980 las áreas de pastizal inducido eran más extensas, pero para 2013 su superficie se ha reducido debido a que actualmente pocas familias se dedican a la ganadería y solo mantienen entre 1 –5 animales.

La modificación de las actividades tradicionales es resultado de nuevos métodos implementados por los habitantes para adecuarse a nuevas normas de regulación por parte de organismos descentralizados (García-Barríos *et al.*, 2011). En el caso de la agricultura, las entrevistas señalan que la modificación sustancial ocurre a partir de 1990, cuando se introdujo el uso de fertilizantes, plaguicidas y el mercado de semillas de maíz. A pesar de mostrar una tendencia de disminución significativa en su extensión, las áreas agrícolas aún son extensas, dominan el paisaje regional y su conversión está relacionada con el crecimiento urbano, lo que ha transformado rápidamente los espacios rurales en urbanos. Esta dinámica de cambio es muy distinta de los resultados encontrados en zonas de montaña en el centro de Europa, donde el paisaje atraviesa por un proceso de transformación acelerado, pero la conversión de los espacios agrícolas es resultado del abandono de tierras (Golobič, 2010). Las actividades basadas en turismo a escala local han sido reconocidas como una alternativa que provee ingresos y desarrollo (Wyman & Stein, 2009). Sin embargo, en la región Izta-Popo las actividades deportivas, educativas y culturales han intensificado el uso del bosque a lo largo del tiempo. En 1980, las actividades eran el alpinismo y la caminata de alta montaña, a partir de 1994 quedaron prohibidas en el área del volcán Popocatepetl (por actividad volcánica) y limitadas en el Iztaccihuatl. Entre 2000 – 2013, las actividades promovidas por la administración del ANP están orientadas al turismo, y aún son catalogadas como actividades de bajo impacto sobre el paisaje. Sin embargo, la construcción de veredas, caminos de acceso asfaltados, refugios, albergues, comedores y la introducción de servicios como agua y drenaje promueven la permanencia de usos de suelo distintos a los naturales. Sin embargo, cabe resaltar que la infraestructura de reciente introducción dentro de la ANP es permanente, así como sus impactos (Golobič, 2010).

Cambio de uso de suelo y dinámica del paisaje

La distribución espacial y altitudinal de la cobertura de bosque dentro del PNIP no se ha modificado desde

1980, y su extensión está asociada a los límites administrativos del ANP. El ANP ha sido un instrumento efectivo para contener los procesos de pérdida de vegetación, evitando los procesos de deforestación y el deterioro al interior del parque Izta-Popo (Figueroa-Díaz, 2008). Una explicación complementaria para el mantenimiento de la extensión de los bosques es la efectividad de los programas de reforestación en el periodo de estudio. En los estados de México y Puebla la superficie reforestada en 2005 fue de 14 400 ha y 9500 ha, respectivamente, superficie superior a la pérdida neta por año de 2600 ha y 4200 ha, para el Estado de México y Puebla, respectivamente, lo que representa una mayor recuperación de la superficie forestal (Céspedes-Flores & Moreno-Sánchez, 2010). Los programas de política ambiental forman parte de los esfuerzos recientes por proteger la biodiversidad y áreas boscosas en zonas periurbanas (Montagnini & Nair, 2004) para conservar la prestación de algunos servicios ecosistémicos en la Ciudad de México (Pisanty *et al.*, 2006), como parece ocurrir en el presente sitio de estudio.

Fuera de los límites del parque Izta-Popo, el uso de suelo urbano es la cobertura con menor superficie, pero con la tasa de cambio más acelerada debido al crecimiento de la población, de 31 621 a 48 421 habitantes entre 1980-2014. El análisis espacial muestra que entre 1980-1990 los espacios urbanos eran los de menor extensión y se concentraban al noroeste del área de estudio fuera del parque, en zonas colindantes con Ixtapaluca y Chalco en el Estado de México. Asimismo, entre 1990-2000 los espacios urbanos crecieron e invadieron zonas ocupadas hasta 1990 por usos tradicionales del suelo como la agricultura y los pastizales. En 2013, el uso urbano era la tercera cobertura más abundante en superficie y se ha expandido por toda la zona oeste (norte, centro y sur) del área de estudio. Se ha documentado que la dinámica poblacional y urbana ha sido creciente en la zona metropolitana del Valle de México al igual que en Ixtapaluca, Chalco y Amecameca, con un crecimiento poblacional a costa de los bosques, que ha impactado negativamente la oportunidad de la regeneración o restauración de esos ecosistemas (Céspedes-Flores & Moreno-Sánchez, 2010). Los procesos de cambio de uso de suelo en el presente estudio están asociados al crecimiento de la población, pero este crecimiento poblacional está más asociado a la expansión de la corona urbana de la Ciudad de México y su área metropolitana que al crecimiento poblacional local.

El suelo urbano está reemplazando a la agricultura, particularmente en la zona baja del área de estudio,

lo cual intensifica el uso del suelo y limita el uso de tierras planas y fértiles para la producción de alimento, promueve la desaparición de las características físicas y biológicas originales de la región y modifica la disponibilidad de recursos y servicios ecosistémicos para las personas que viven del bosque. Estos resultados son similares a los reportados en los estudios de Pisanty *et al.* (2006), quienes señalan que las nuevas zonas urbanas se expanden en entidades políticas y administrativas diferentes a aquellas en las que empezó su desarrollo. Por ejemplo, la cabecera municipal de Amecameca y algunas localidades como San Pedro Nexapa y San Rafael aún conservan espacios destinados a la agricultura para autoconsumo, patios para crianza de animales y pastizales para ganado, que son considerados usos tradicionales del suelo, pero han iniciado un proceso de división de parcelas y terrenos donde se construyen unidades habitacionales y fraccionamientos que intensifican el uso del suelo y aceleran el proceso de urbanización de los espacios periurbanos. Este desarrollo urbano es irreversible en términos ecológicos (reducción del número de especies, cambio en la composición y estructura), en relación con las áreas agrícolas que pueden rehabilitarse como bosques templados.

En el caso de la agricultura, conservaba una extensión continua y estable entre 1980-1990, a partir del 2000 su estructura fue cada vez más fragmentada. En este estudio, el retroceso del uso agrícola se atribuye a la conversión de zonas agrícolas a urbanas. Esto es diferente de los procesos de transformación del paisaje en bosques templados de latitudes altas, donde algunos autores han encontrado que el acelerado proceso de división de las superficies agrícolas es resultado del abandono de tierras (Bürgi & Russell, 2001; Bürgi *et al.*, 2013; Ticktin, 2004), ahí las parcelas abandonadas se transforman en nuevas áreas de bosque y el proceso de conversión es positivo para fines de conservación, lo que difiere totalmente de los hallazgos en la región Izta-Popo. Sin embargo, las actividades agrícolas siguen siendo parte fundamental de subsistencia e ingreso de los actores locales. Por ello es primordial realizar actividades que permitan coexistir el potencial de conservación de los bosques y la agricultura, mediante la agricultura sedentaria y la agroforestería (*Millennium Ecosystem Assessment [MEA]*, 2005).

CONCLUSIONES

La dinámica de CUS sugiere que las tendencias regionales de cambio del paisaje dentro del área de estudio son distintas a las regionales, y puede estar

relacionada con la presencia del ANP debido a que sus iniciativas han tenido un impacto positivo sobre la permanencia del bosque. Sin embargo, fuera del área de influencia del parque nacional el proceso de urbanización es acelerado e irreversible debido al crecimiento poblacional de la corona urbana, mientras que la reducción de la cobertura del bosque es debida a la demanda de alimento, leña y recreación turística en el entorno local. La integración del enfoque socio-ecológico, construido a través de la percepción de los habitantes, permitió entender la historia de la transformación del paisaje; por ejemplo, permitió evidenciar que cada grupo de personas establece relaciones distintas con el paisaje y que están relacionadas con sus actividades como el trabajo y la recreación. Los usuarios del paisaje logran identificar con facilidad cambios de uso de suelo, sin embargo, no reconocen los efectos positivos o negativos que puedan tener sobre la prestación de servicios ecosistémicos. La historia del manejo señala que la protección del bosque es antigua, aunque su conservación y rehabilitación es un esfuerzo de reciente inclusión. En el caso del PNIP transcurrieron 77 años entre su fundación (1935) y la publicación de su primer plan de manejo de recursos naturales (2013), lo que facilitó la modificación del paisaje hasta la actualidad por la falta de regulación y diversificación de actividades dentro y fuera del ANP. Lo anterior sugiere que la construcción del paisaje tiene dos fuerzas formadoras; las indirectas relacionadas con imposiciones de la política pública de las ANP y el desarrollo de la corona urbana; y las fuerzas de cambio directas derivadas de la extracción de recursos naturales de los usuarios del bosque. Es decir, en la construcción del paisaje operan factores de diferentes escalas espaciales tanto de fenómenos puramente biofísicos y la integración de procesos económicos, políticos e institucionales que también requieren ser observados en su propia escala espacial.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico-Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (DGAPA-PAPIIT) por el financiamiento del proyecto "Respuesta del ciclo de Carbono al cambio de uso de suelo y manejo forestal en paisajes de bosques templados" (IN105712).

REFERENCIAS

Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and urban planning*, 70(1-2), 21-34.

- Ballester, L., Orte, C., & Oliver, J. L. (2003). Análisis cualitativo de entrevistas. *Nómadas*, (18), 140-149.
- Bobbink, R., Heil, G., & Trigo, N. (2003). *Ecology and Man in Mexico's Central Volcanoes Area*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Botequilha-Leitao, Miller, J., Ahren, J., & McGarigal, K. (2006). *Measuring Landscape: A planner's handbook*. Washington: Island Press.
- Bürgi, M. (1998). Habitat alterations caused by long-term changes in forest use in north-eastern Switzerland. En K., Kirby, & C. Watkins. *The Ecological History of European Forests* (pp. 203-211). Wallingford: CAB International.
- Bürgi, M., & Gimmi, U. (2007). Three objectives of historical ecology: the case of litter collecting in Central European forests. *Landscape Ecology*, (22), 77-87.
- Bürgi, M., Gimmi, U & Stuber, M. (2013) Assessing traditional knowledge on forest uses to understand forest ecosystem dynamics. *Forest Ecology and Management*, (289), 115-122.
- Bürgi, M., & Russell, E. (2001). Integrative methods to study landscape changes. *Land Use Policy*, 18(1), 9-16.
- Campos, M., Velázquez, A., Bocco, G., Skutsch, M., Boada, M., & Priego-Santander, A. (2012). An interdisciplinary approach to depict landscape change drivers: A case study of the Ticuiz agrarian community in Michoacan, Mexico. *Applied Geography*, 32(2), 409-419.
- Céspedes- Flores, S., & Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación ambiental*, 2(2), 5-13.
- Challenger, A. (1998). Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado, presente y futuro. México: Conabio.
- Chávez, J., & Trigo, N. (1996). *Programa de gestión para el Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl. Colección Ecología y Planeación*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). (2013). *Programa de Manejo Parque Nacional Ixta-Popo*. México: Conanp.
- Ding, H., Wang, R., Wu, J., Zhou, B., Shi, Z., & Ding L. (2007). Quantifying Land Use Change in Zhejiang Coastal Region, China Using Multi-Temporal Landsat TM/ETM+ Images. *Pedosphere*, 1(6), 712-720.
- Echeverría, C., Newton, A., Nahuelhual, L., Coomes, D., & Reyes-Benayas, J. (2012). How Landscapes Change: Integration of Spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. *Applied Geography*, 30(3), 822-831.
- Edman, T., Angelstam, P., Mikusinski, G., Roberge, J., & Sikora, A. (2011). Spatial planning for biodiversity conservation: Assessment of forest landscapes conservation value using umbrella species requirements in Poland. *Landscape and Urban Planning*, 102(1), 16-23.
- Fernández-Coppel, I., & Herrero-Llorente, E. (2001). *El satélite Landsat. Análisis Visual de imágenes obtenidas por el sensor ETM+ el satélite Landsat*. Palencia: Universidad de Valladolid.
- Figueroa-Díaz Escobar, M. (2008). El contexto socioeconómico y la efectividad de las áreas naturales protegidas de México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación (tesis doctoral). México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/M9RCRRR JAXUL7GQCRSMPIKNPHBTS-QIX5L5FDBK3FHQ8Y9BF475-45135?func=full-set-set&set_number=017949&set_entry=000001&format=999
- Food and Agricultural Organization (FAO). (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Informe principal*. Roma: FAO.
- Frosini, S., Vettorazi, C., & Theobald, D. (2009). Using indicators of deforestation and land use dynamics to support conservation strategies: A case of study of central Rondônia, Brazil. *Forest ecology and management*, 257(7), 1586- 1595.
- Galetti, M., & Alexio, A. (1998). Effects of palm heart harvesting on avian frugivores in the Atlantic rain forest of Brazil. *Journal of Applied Ecology*, 35(2), 286-293.
- García-Barrios, L., García-Barrios, R., Waterman, A., & Cruz-Morales, J. (2011). Social dilemmas and individual/group coordination strategies in a complex rural land-use game. *International Journal of the Commons*, 5(2), 364-387.
- García-Romero, A., Mendoza-Robles, K., & Galicia, L. (2005). Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México. *Investigaciones geográficas*, (56), 77-100.
- Geist, H., & Lambin, E. (2001). *What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence*. Belgium: LUCC Report Series.
- Geliff F. (1997). *Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*. San Salvador: Prochamate-IICA.
- Gibon, A., Sheeren, D., Monteli, C., Ladet, S., & Balent, G. (2010). Modelling and simulating change in reforesting mountain landscapes using a social-ecological framework. *Landscape Ecology*, 25(2), 267-285.
- Gobattoni, F., Pelorosso, R., Lauro, G., Leone, A., & Monaco, R. (2011). A procedure for mathematical analysis of landscape evolution and equilibrium scenarios assessment. *Landscape and Urban Planning*, 103(3), 289-302.
- Golobč, M. (2010). Transformation Processes of Alpine Landscapes and Policy Responses: Top-Down and Bottom-Up Views. *Society and Natural Resources*, 23(3), 269-280.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. México: INEGI. Recuperado el 10 de agosto de 2013 de <http://www.censo2010.org.mx/>
- Kamukoso, C., Aniya, M., Adi, B., Manjoro, M. (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe -Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov- cellular automata model. *Applied Geography*, 29(3), 435-447.
- Kolb, M. (2013). *Dinámica del uso de suelo y cambio climático en la planeación sistemática para la conservación: un caso de estudio en la cuenca Grijalva- Usumacinta* (tesis doctoral). México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/X78ASSRL-HKMNPTDNNBDBD5S7QETMSBNQ276YBIQDQ3V8V5SML-23557?func=find-b&request=melanie+kolb&find_code=WRD&adjacent=N&local_base=TES01&x=0&y=0&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3

- Lambin E., Chasek, P., Downing, T., Kerven, C., Kleidon, A., Leemans, R., Lüdeke, M., Prince, S., & Xue, Y. (2002). Global Desertification: Do Humans Cause Deserts? Berlin: Dalhem University Press.
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land use and cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 205-241.
- López Sabatel, J. (2008). Paisaje agrario y prácticas agrícolas en la ribera Sacra (Galicia) durante los siglos XIV y XV. *Anuario de estudios medievales*, 38(1), 213-234.
- McDonnell & Pickett, S. (1993). *Humans as components of Ecosystems* (pp. 357). New York: Springer.
- McGarigal, K., & McComb, W. (1995). Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon Coast Range. *Ecological Monographs*, 65(3), 235-260.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis Report*. Washington: Island Press.
- Montagnini, F., & Nair, P. K. R. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, (61), 281-295.
- Nascimento, R. (1991). Discutendo números do desmatamento. *Interciencia*, 16(5), 232-239.
- Olson, J., Misana, S., Campbell, D., Mbonile, M., & Mugisha, S. (2004). The Spatial Pattern and Root Causes of Land Use Change in East Africa. *Land Use Change Impacts & Dynamics*, 47, 1-32.
- Peterson-St Laurent, G., Gélinas, N., & Potvin, C. (2013). Diversity of perceptions on REDD+ Implementation at the Agriculture Frontier in Panama. *International journal of Forestry Research*, (1), 1-16.
- Pisanty, I., Mazari, M., & Ezcurra, E. (2006). El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas en Pisanty, I (Ed.), *Capital Natural de México* (pp. 719-759). México: Conabio.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. México: Conabio.
- Tasser, E., Ruffini, F., Tappeiner, U. (2009). An integrative approach for analysing landscape dynamics in diverse cultivated and natural mountain areas. *Landscape Ecology*, 24(5), 611-628.
- Tickett, T. (2004). The ecological implications of harvesting non timber forest products. *Journal of Applied Ecology*, 41(1), 11-21.
- Torres-Beltrán, C. (2013). *Análisis de los cambios del límite superior del bosque en el volcán Iztaccihuatl* (tesis de maestría). México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/U8UK76GVTKNK9DC3A65K5EY6QIFEN1FUJJVL-HCD41K14MJN9J9-47024?func=find-b&request=carla+torres+beltr%C3%A1n&find_code=WRD&adjacent=N&local_base=TES01&x=0&y=0&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=
- Turner, M. (2005). Landscape Ecology: What is the state of the science. *Reviews in advance*, 36(3), 319-344.
- University of Massachusetts (UMASS). FRAGSTATS Software (3.2). Recuperado el 12 de febrero de 2013 de <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/Conceptual%20Background/Landscape%20Metrics/Landscape%20Metrics.htm>
- United States Geological Survey (USGS). (2013). Recuperado el 12 junio de 2013 de http://landsat.usgs.gov/tools_faq.php
- Watson, S., Luck, G., Spooner, S., & Watson, D. (2014). Land-use change: incorporating the frequency, sequence, time span, and magnitude of changes into ecological research. *Frontiers in Ecology and Environment*, 12(4), 241-249.
- Wyman, M., & Stein, T. V. (2010). Modelling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize. *Applied Geography*, (30), 329-342.