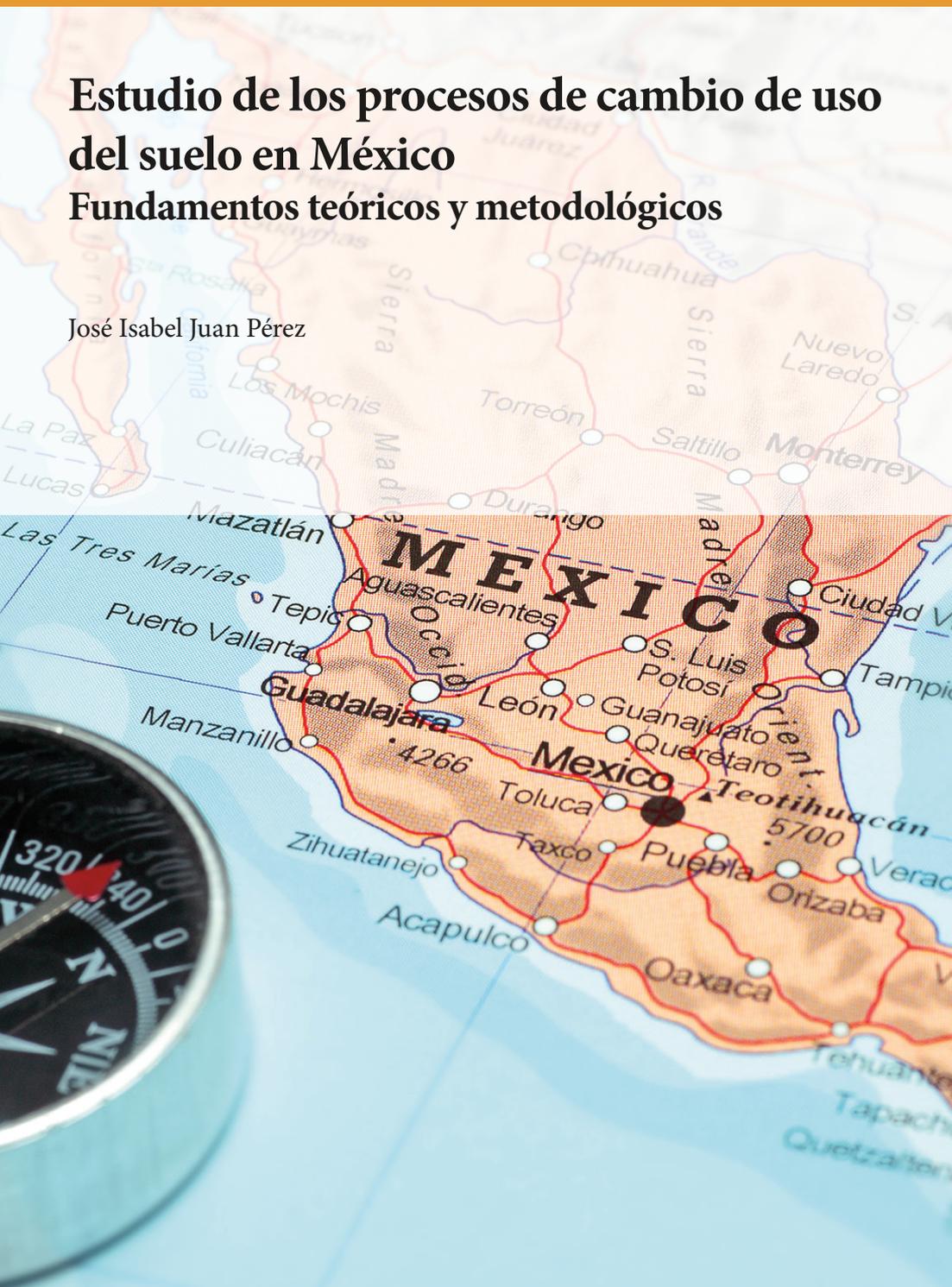


Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México

Fundamentos teóricos y metodológicos

José Isabel Juan Pérez



Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México

Fundamentos teóricos y metodológicos

José Isabel Juan Pérez





CONACYT
Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas
Registro: 1900555

Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México. Fundamentos teóricos y metodológicos

© José Isabel Juan Pérez

Dirección del Proyecto

Eduardo Licea Sánchez
Esther Castillo Aguilar
José Eduardo Salinas de la Luz

Arte

Paulina Cordero Mote
Vanesa Alejandra Vázquez Fuentes
Livia Rocco Sarmina

Formación de Interiores

Paulina Cordero Mote

1a. edición

© 2021 Fernando de Haro y Omar Fuentes

ISBN 978-607-437-543-5

D.R. © CLAVE Editorial

Paseo de Tamarindos 400 B, Suite 109.

Col. Bosques de las Lomas, Ciudad de México, México. C.P. 05120

Tel. 52 (55) 5258 0279/80/81

ame@ameditores.mx

ecastillo@ameditores.mx

www.ameditores.com

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, archivada o transmitida en forma alguna o mediante cualquier sistema, ya sea electrónico, mecánico o de fotorreproducción, sin la previa autorización de los editores.

Los textos que conforman la obra fueron sometidos a dos dictámenes de pares ciegos. Se omiten los nombres de los dictaminadores, por consideraciones de ética profesional y de procedimiento de arbitraje. Su contenido es responsabilidad de quienes lo firman y no refleja necesariamente la postura institucional.

Elaborado en México.

Índice

Introducción	13
Capítulo I. Conceptos básicos de cambio de uso del suelo	25
Situación ambiental actual	
Conceptos de uso del suelo y cobertura del suelo	
Cobertura del suelo	
Impulsores de cambio de uso del suelo	
Impacto de los cambios de uso del suelo	
El inicio de los estudios de cambio de uso del suelo	
Capítulo II. Fundamentos teóricos de cambio de uso del suelo	41
La geografía y el estudio del espacio	
La geografía rural y el cambio de uso del suelo	
La geografía económica y los cambios de uso del suelo	
Aportaciones de la geografía cultural al estudio de los cambios	
La ecología cultural: ambiente, sociedad, cultura	
La ecología forestal y sus aplicaciones	
Importancia social de la ecología humana	
Teorías de cambio de uso del suelo	
Capítulo III. Métodos y técnicas de cambio de uso del suelo	67
Insumos cartográficos tradicionales	
Modelos de cambio de uso del suelo	
Estudios de cambios de uso del suelo en México	
Estudios de cambio de uso del suelo internacionales	
Capítulo IV. Estudio de caso	83
Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, México	
Descripción general del Ejido Agua Bendita	
Componentes biológicos: la vegetación	
Componentes biológicos: la fauna	

Componentes demográficos, económicos y culturales
Servicios públicos
Generadores de cambio

Capítulo V. Resultados del estudio de caso	105
Secuencia teórica y metodológica	
Análisis de los procesos de cambio de uso del suelo	
Consideraciones finales	
Bibliografía	142
Acerca del autor	153

Agradecimientos

El contenido de este libro es resultado del proyecto de investigación “*Procesos socioambientales y transformación del paisaje en México*”, financiado por el Colegio de Ciencias Geográficas del Estado de México, A.C., y que se desarrolla desde el año 2010 en varias regiones de México, particularmente en el territorio mexicano. En el proyecto de investigación participa un equipo de trabajo multidisciplinario integrado por especialistas en geografía, estadística, antropología social, ecología, ingeniería forestal y manejo de recursos naturales; asimismo, estudiantes de la licenciatura y maestría de la Universidad Autónoma del Estado de México, a quienes se les extiende un gran agradecimiento. El equipo multidisciplinario aplicó los fundamentos teóricos, técnicos, metodológicos y técnicas de trabajo de campo para recopilar, analizar e integrar la información geográfica, ambiental, sociocultural y cartográfica, en cada uno de los capítulos que integran este libro, por lo que, es pertinente dar las gracias por su participación. Se agradece con cariño el apoyo de Dhamar, Karla, Marvin y Marco Antonio.

La participación del ingeniero Genaro Fernando García Herrera fue relevante. Él desarrolló la investigación titulada *Cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México: 1989–2012*, para obtener el grado de maestro en Análisis Espacial y Geoinformática; parte de los resultados de la investigación, están contenidos en este libro, principalmente en los capítulos cuatro y cinco. Por ello, se externa un fraternal agradecimiento al ingeniero García Herrera por facilitar la información y autorizar su publicación. Por supuesto, también se agradece al CONACyT por el otorgamiento de la beca otorgada a él para realizar sus estudios de maestría.

El apoyo incondicional de los doctores José Manuel Camacho Sanabria y José Carmen García Flores siempre ha favorecido el desarrollo y continuidad de estudios relacionados con los procesos socioambientales de cambio de uso del suelo, impacto ambiental, transformación del paisaje, sustentabilidad y resiliencia, por lo que, se agradece su participación en la dictaminación de este libro; toda vez que sus comentarios y observaciones favorecieron la calidad metodológica y científica de esta obra. El autor de este libro reconoce el apoyo del Colegio de Ciencias Geográficas del Estado de México, A.C. y del Centro de Investigación Multi-

disciplinaria en Educación (CIME), de la Universidad Autónoma del Estado de México, por facilitar los recursos técnicos, materiales y financieros para el desarrollo de investigaciones geográficas en el contexto del territorio nacional.

Introducción

Este libro describe los fundamentos teóricos, métodos, técnicas y modelos que sustentan los estudios de cambio de uso del suelo. Asimismo, analiza las interacciones entre los procesos de cambio de uso del suelo, los impulsores, y las actividades que inciden en estos. El presente trabajo es resultado del proyecto de investigación *Procesos socioambientales y transformación del paisaje en México*, financiado por el Colegio de Ciencias Geográficas del Estado de México, A.C., y que se desarrolla desde el año 2010 en varias regiones del territorio mexicano, en particular en el Estado de México. Una parte de la información contenida en este libro, principalmente aquella que corresponde a los capítulos cuatro y cinco, fue obtenida de la tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática, cuyo título es *Cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México: 1989–2012*. Con autorización del maestro Genaro Fernando García Herrera, autor de la tesis, se incluyen tablas, cuadros, mapas y fotografías, otorgando los créditos correspondientes.

La investigación para la integración de la tesis se realizó entre los años 2012 y 2014 pero en años posteriores, el autor de este libro y el equipo de investigación continuaron recopilando datos en la misma comunidad. El propósito del proyecto de investigación y por supuesto, de este libro fue analizar de manera general los fundamentos teóricos y modelos que deben sustentar los estudios de cambio de uso del suelo, los procesos de cambio, la transición hacia la sustentabilidad, los impulsores de cambio, y las actividades humanas que influyen en las transformaciones del territorio.

Con la finalidad de difundir los resultados contenidos en este libro a nivel internacional y nacional, se presenta un panorama general de la situación actual del territorio mexicano, y de esta manera se ofrece información geográfica, ambiental y sociocultural de México a los lectores para ubicarles en el contexto nacional, toda vez que, a nivel internacional, es más fácil ubicar y reconocer el nombre de un país que el de una comunidad.

México es un país caracterizado por la amplia diversidad geográfica, ecológica y sociocultural. Se localiza al norte del continente americano y está delimitado por las coordenadas geográficas 14° 32' 27" y 32° 43' 06" de latitud norte, y entre 86°

42' 36" y 118° 22' 00" de longitud oeste. Presenta diversos gradientes altitudinales, algunos menores al nivel medio del mar y otros superiores a los cinco mil metros sobre el nivel del mar (msnm). Las zonas de menores altitudes se encuentran en las costas del Golfo de México y las costas del Océano Pacífico; sin embargo, en el ambiente terrestre (superficie continental), la zona de menor altitud está ubicada en la ciudad de Mexicali, Baja California (3 msnm), aunque el asentamiento humano de Santa Isabel se encuentra a 3 metros bajo el nivel del mar, situación que le confiere peculiaridades geográficas y ecológicas propias de ambientes desérticos y de mínimas altitudes. Las zonas con mayores altitudes se localizan en las cimas de las montañas, de origen volcánico y ubicadas en la Sierra Volcánica Transversal (Eje Neovolcánico), como es el caso del Pico de Orizaba, cuya altitud máxima es de 5,610 msnm (INEGI, 2010b).

Desde el siglo XVIII, el territorio mexicano ha estado sujeto a variaciones en su superficie, tanto continental como insular, marítima y la correspondiente a la zona económica exclusiva (ZEE), situación vinculada con diversos procesos económicos, factores políticos y tratados internacionales de los países limítrofes. Actualmente la superficie continental de México es de 1,960,189 km² (INEGI, 2010b).

El relieve del territorio mexicano es heterogéneo —diverso— y complejo, se caracteriza por la presencia de una amplia diversidad de paisajes, siendo relevantes las sierras, volcanes, mesetas, lomeríos, llanuras y depresiones. Hernández, Pérez, Rosete, Villalobos, Méndez & Navarro (2017) consideran que, en México, la evolución geotectónica ha determinado la formación y existencia de grandes cordilleras montañosas (Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre del Sur), altiplanos continentales centrales, un eje Neovolcánico transmexicano, plataformas neotectónicas y cuencas transgresivas litorales —estas últimas en el Golfo de México y en el Océano Pacífico—.

La diversidad de formaciones geológicas en el territorio mexicano es peculiar. Dicha situación está asociada con la actividad tectónica, presencia de fallas geológicas, zonas sísmicas, volcánicas y de subducción que, en interacción con otras características y condiciones de la superficie terrestre, generan sismos de diferentes magnitudes. México es un país de volcanes, siendo los más importantes y de mayor altura el Pico de Orizaba, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Xinantécatl y Nevado de Colima. Otras formas de relieve son las cuencas hidrográficas; por ejemplo, la cuenca de la Ciudad de México, conformada en tiempos pretéritos por lagos importantes, como el de Texcoco y Xochimilco, pero que en la actualidad alberga una amplia diversidad de asentamientos humanos (Zona Metropolitana del Valle de México).

Los componentes hidrológicos en México están conformados por lagunas, lagos, ríos, presas y embalses, y son de vital importancia por sus múltiples usos; además, influyen en los rasgos culturales de los grupos que viven en entornos

adyacentes o cuyas actividades y subsistencia dependen de los recursos existentes en los ambientes acuáticos y zonas de humedales. Los elementos hidrológicos más relevantes y que mantienen interacciones con los grupos poblacionales que habitan en sus entornos adyacentes son: Lago de Chapala (Jalisco), Lago de Cuitzeo y Lago de Pátzcuaro (Michoacán), Lago de Yuriria (Guanajuato), Laguna de Bacalar (Quintana Roo) y Laguna de Catemaco (Veracruz).

Con relación a las condiciones climáticas, la superficie del territorio mexicano tiene diversos tipos de climas. De acuerdo con García (2006), hay cuatro tipos principales: tropical, seco, templado y polar; los cuales, en asociación con las condiciones edafológicas, geográficas e hidrológicas influyen en la existencia de una amplia diversidad de paisajes, ecosistemas, vegetales, animales y elementos socioculturales.

La diversidad biológica terrestre de México comprende diversos paisajes, ecosistemas y comunidades vegetales. Las últimas se agrupan en siete tipos: bosques tropicales perennifolios, bosques tropicales caducifolios, bosques mesófilos de montaña, bosques templados de coníferas y latifoliadas, matorrales xerófilos, pastizales, y humedales (CONACULTA, 2010). El territorio mexicano es megadiverso y peculiar por la diversidad de ecosistemas, en los que habita una amplia variedad de especies vegetales y animales representativas de todos los grupos. La abundancia y distribución de la flora, y por consiguiente de la fauna, son resultado de las condiciones biogeográficas y de la diversidad climática de las regiones que integran el país. La vegetación bien conservada o vegetación primaria ocupa una superficie de 95.82 millones de hectáreas, mientras la que se encuentra en diversos estados secundarios suma 42.15 millones de hectáreas. El resto del país corresponde a conglomerados urbanos, zonas agrícolas, cuerpos de agua, y terrenos sin vegetación aparente (CONACULTA, 2010).

Con base en las condiciones ecológicas actuales, se ha reconocido a las ecorregiones como áreas que contienen un conjunto geográficamente distintivo de comunidades naturales que comparten especies y dinámicas ecológicas, así como condiciones ambientales similares. México ha sido dividido en siete ecorregiones terrestres: grandes planicies, desiertos norteamericanos, california mediterránea, elevaciones semiáridas del sur, sierras templadas, bosques tropicales secos y bosques tropicales húmedos (CONACULTA, 2010).

Las áreas naturales protegidas son porciones terrestres o acuáticas representativas de los ecosistemas de un territorio, en las que el ambiente original no ha sido alterado y las cuales producen beneficios ecológicos que son cada vez más reconocidos y valorados. En México, estas áreas son establecidas por decreto presidencial y en ellas las actividades que pueden llevarse a cabo deben apegarse a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).

Están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la ley referida. Existen 174 áreas naturales protegidas de carácter federal, las cuales representan un total de 25,384,818 hectáreas (12.91 % de la superficie territorial), divididas en seis categorías, todas con distintos propósitos; por ejemplo, las reservas de la biosfera están designadas a promover y demostrar una relación equilibrada entre las poblaciones y la naturaleza (CONACULTA, 2010).

La enorme diversidad natural, geográfica, ambiental y sociocultural, presente en las regiones del territorio mexicano, influye y favorece la existencia y continuidad de un mosaico multicultural, coexistiendo diversos patrones y manifestaciones culturales, procesos de organización social, territorial y económica que, en interacción con otros rasgos, conforman un sistema dinámico complejo en el contexto de América Latina.

Los componentes socioculturales de México también son peculiares y están asociados a las condiciones ambientales de las regiones y comunidades originarias y contemporáneas. La noción de “ambiente”, a la cual Bocco y Urquijo (2013) se refieren como un objeto social, cultural e históricamente construido, y que Reboratti (2011) define como el *continuum* de elementos naturales, elementos naturales modificados y elementos artificiales que constituyen el ámbito concreto que nos rodea, al cual se conoce como la “tradición hombre-ambiente”. El ambiente no es sólo lo que “rodea”, sino también un producto de “aquello que es rodeado”. Se trata de una noción de aprovechamiento indirecto y a menudo imperceptible —es decir, abstracta—, cuya concepción o transformación responde a negociaciones entre actores sociales, en distintos niveles de dominio o poder. En otras palabras, el ambiente es en principio social (Bocco & Urquijo, 2013).

En México, el 20 de abril de 2006 entró en vigor la Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial. Esta convención obliga a las naciones a proteger el patrimonio cultural inmaterial, y “los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas —junto con los instrumentos, objetos, artefactos, y espacios culturales que les son inherentes— que las comunidades, los grupos y los individuos reconocen como parte integrante de su patrimonio cultural”. Se transmite de padres a hijos y cambia con el tiempo. Se trata de una cultura viva (CONACULTA, 2010).

La Salvaguardia del Patrimonio Cultural e Inmaterial comprende acciones o actividades que hacen posible la existencia y continuidad de las manifestaciones del patrimonio cultural inmaterial, y están agrupadas de la siguiente manera: lengua, tradiciones y expresiones orales, artes de la representación, prácticas sociales, rituales y actos festivos, conocimientos y usos relacionados con la naturaleza y el universo, artes y oficios tradicionales. En el territorio mexicano se tienen re-

gistradas 248 manifestaciones culturales, siendo relevantes las lenguas indígenas, rituales y conocimientos (CONACULTA, 2010).

La diversidad cultural de México está asociada directamente con la diversidad ambiental, pues el conocimiento y manejo de los recursos naturales representan la base para la subsistencia de las familias campesinas y de los grupos originarios (denominados indígenas). Esta diversidad se expresa en múltiples manifestaciones y rasgos propios de la región mesoamericana, principalmente en las lenguas de sesenta y ocho pueblos originarios (indígenas), que en la actualidad son habladas por siete millones de mexicanos.

Mesoamérica significa "*América Media*" y se refiere a un conjunto de rasgos cuya presencia es significativa en los pueblos del norte de América Central, el centro y sur de México, mismos que los distinguen de otras culturas americanas. El límite norte de Mesoamérica era la región comprendida entre el Río Sinaloa y la Sierra Madre Occidental, las cuencas de los ríos Lerma y Pánuco; mientras tanto, el límite sur estaba en la línea entre la desembocadura del Río Motagua y el Golfo de Nicoya, en Costa Rica (Kirchhoff, 2010). El conjunto de rasgos culturales de Mesoamérica es diverso. Por ejemplo, el sistema agrícola de "roza, tumba y quema", el manejo de la milpa y el consumo de alimentos preparados con maíz, frijol, calabaza y chile.

Las características actuales de México son resultado de la interacción entre las divisiones geográficas y las divisiones de gestión político-administrativas, en asociación con las condiciones ecológicas de las regiones. Su situación geográfica, en el contexto internacional, sus relaciones económicas, políticas, demográficas y socio-culturales influyen en la generación de problemas ambientales que a corto, mediano y largo plazo incidirán en el desarrollo humano de los habitantes. Los problemas más comunes son: contaminación del aire, olores desagradables, presencia y disposición inadecuada de residuos líquidos y sólidos en cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, humedales), procesos erosivos en distinto grado, disposición de residuos sólidos en los suelos, azolvamiento de cuerpos de agua, tala clandestina de especies forestales, pérdida de la biodiversidad, caza y captura de animales silvestres, asentamientos irregulares en áreas naturales protegidas, incendios forestales, extracción de recursos naturales sin control, contaminación acústica, presencia de fauna nociva, plagas y enfermedades forestales, y cambios de uso y cobertura del suelo.

Los problemas ambientales existen en espacios urbanos y rurales. En cada uno de éstos, los efectos y consecuencias son diferentes; no se puede generalizar o afirmar en qué porciones del territorio los problemas ambientales son más graves o menos graves, ya que existen factores que determinan, influyen, modifican o cambian los efectos o causas al interior o exterior de las regiones y comunidades. Los efectos pueden ocurrir en distintas escalas: espaciales y temporales.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en América Latina y el Caribe, la presión del crecimiento demográfico sobre los sistemas naturales constituye una importante fuerza conductora del deterioro ambiental; las ciudades pequeñas e intermedias son las que más crecen. Las estimaciones sobre el grado de vulnerabilidad de los países de América Latina y el Caribe ante el cambio climático aún son imprecisas pero, sin duda, ecosistemas, especies de distribución restringida, recursos hídricos, producción agropecuaria, recursos forestales, asentamientos humanos, zonas costeras y la salud humana, se encuentran entre los componentes más vulnerables.

Desde finales del siglo xx, las regiones que conforman la superficie continental de México presentan signos de degradación, inducida por la práctica de actividades humanas no sustentables. La degradación química, los procesos erosivos, la pérdida de fertilidad de los suelos, la erosión hídrica, la contaminación por uso indiscriminado de agroquímicos y disposición inadecuada de residuos líquidos y sólidos, y los procesos rápidos de cambio de uso y cobertura del suelo, son los principales impulsores de la situación ambiental de los suelos mexicanos.

Actualmente, en México, el crecimiento rápido de las ciudades y de la población en varias regiones y comunidades rurales; así como el deterioro y abandono de las tierras de cultivo, el alto costo de los insumos agrícolas para producir alimentos, y la búsqueda de satisfactores para el bienestar social, han influido en los procesos de transformación del paisaje natural. Ello quiere decir que los procesos de cambio de uso del suelo están influyendo en la modificación de la cobertura o cubierta del mismo, por lo que es pertinente realizar estudios e investigaciones con distintas escalas de análisis: global, regional y local, con el propósito de conocer las causas, impulsores, factores y consecuencias asociadas con los procesos de cambio de uso del suelo. La cubierta del suelo se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno, la cual puede ser identificada y verificada visualmente en campo o a través de métodos y técnicas de percepción remota.

El conocimiento y aplicación de los fundamentos teóricos y metodológicos (modelos) para estudiar los procesos de cambio de uso del suelo son importantes, ya que, a partir de las últimas décadas existen diversos métodos, técnicas, herramientas, modelos y materiales para la identificación, análisis, cuantificación, evaluación y pronósticos (escenarios), todos con distintos enfoques, aplicaciones, propósitos, intereses, dimensiones y escalas. El estudio de los procesos de cambio de uso del suelo debe sustentarse con fundamentos teóricos, tanto clásicos —teorías originales— como recientes —teorías contemporáneas—; esto con la finalidad establecer interacción y asociaciones con investigaciones pasadas, enfoques, teorías y conceptos para abordar y analizar de modo coherente el problema de la investigación e hipótesis; es decir, procurar que los estudios de cambio de uso del

suelo sean sustentados por teorías y, de preferencia, verificar los procesos e impactos directamente en el campo .

Con base en lo expuesto en párrafos anteriores, es importante identificar y analizar estudios de procesos de cambio de uso del suelo, impulsores que los provocan y actividades humanas que influyen o determinan tanto su generación como intensidad y magnitud. Lo anterior, con el propósito de conocer enfoques teóricos o modelos utilizados y, de alguna manera, apreciar resultados diferentes, a lo que generalmente se obtiene de este tipo de estudios o investigaciones: cambios drásticos de uso y cobertura, intercambios entre categorías, ganancias, pérdidas, modificaciones, transformaciones, impactos ambientales, entre otros.

Con frecuencia, los estudios de cambio de uso del suelo en México, sus regiones y comunidades, reportan la mayoría de las veces resultados negativos. Al hacer el análisis de las categorías, clases o coberturas del suelo se determina que múltiples impulsores y actividades humanas son las causas principales de los procesos de cambio de cobertura y cambio de uso del suelo; además, se reportan pérdidas y ganancias significativas, la mayoría de las veces asociadas a los bosques (templados, subtropicales y tropicales), la agricultura (tradicional, convencional, de riego, tecnificada) y los asentamientos humanos (regulares e irregulares).

En los lugares templados y semifríos del Estado de México se localizan los ecosistemas forestales de pino (*Pinus sp.*), oyamel (*Abies religiosa* [Kunth] Schtdl. & Cham.), encino (*Quercus sp.*), pino-oyamel y pino-encino, siendo relevantes los que se encuentran en el municipio de Amanalco, ya que este territorio, por formar parte de la Cuenca Amanalco-Valle de Bravo, ha sido sujeto a una serie de programas encaminados al mejoramiento ambiental, con el propósito de coadyuvar en la generación de servicios ecosistémicos y ambientales para el beneficio directo de sus habitantes y los pobladores de otros asentamientos humanos del Estado de México y de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Desde el punto de vista biogeográfico, el municipio de Amanalco está ubicado en la zona de transición mexicana (ZTM), la cual contiene biomas importantes a nivel nacional, son generados por la imbricación de los ecosistemas propios de las regiones florísticas Neártica y Neotropical (Halffter, 1978). Las condiciones geográficas y ecológicas que caracterizan a esta zona han favorecido la existencia y distribución espacial de ecosistemas propios de ambientes templados (Halffter, 1978).

En años recientes, en el municipio de Amanalco, debido al desarrollo de programas ambientales gubernamentales, los ecosistemas forestales se conservan y se aprovechan con un enfoque sustentable (Camacho, Juan, Franco, Pineda, Cadena, Bravo & Sánchez, 2015). Las familias se han beneficiado de diversos programas, por ejemplo “Manejo Forestal Comunitario”, “Plantaciones Forestales Comerciales” y el “Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos” CONAFOR, 2008;

PROBOSQUE, 2008, 2010. Aun con la existencia e implementación de diversos programas, existen retos ambientales por atender, siendo notorios la tala clandestina, incendios forestales, sobrepastoreo y crecimiento de la frontera agrícola en áreas con vocación forestal, situación que provoca cambios en las coberturas vegetales y usos del suelo. Por esta razón, es relevante que las dependencias gubernamentales responsables del cuidado, conservación y manejo de los recursos forestales, en colaboración con organismos no gubernamentales y especialistas ambientales, se esfuercen para diseñar estrategias que coadyuven a la protección, conservación y restauración de los ecosistemas. Para ello es recomendable hacer un análisis multitemporal de los procesos de cambio que experimentan las coberturas vegetales y usos del suelo de este municipio, y construir escenarios prospectivos para simular el comportamiento de los mismos (Camacho *et al.*, 2015).

Sobre la existencia de bosques en áreas naturales protegidas, la producción de alimentos en zonas agrícolas, los pastizales para el pastoreo de animales domésticos, el abastecimiento de agua para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y Zona Metropolitana de la Ciudad de México, así como la presencia de elementos socioculturales mesoamericanos en el Ejido Agua Bendita, Amanalco, Estado de México, fue necesario analizar el cambio de uso del suelo y grado de cobertura. Lo anterior, debido a que los procesos que ocurren en esta comunidad son peculiares, siendo un estudio de caso muy significativo para otras comunidades mexicanas, toda vez que, ha coadyuvado en la transición para el desarrollo local sustentable.

El Ejido Agua Bendita es una comunidad que alberga familias pertenecientes al grupo originario (indígena) otomí, situación que ha favorecido la organización social e interacción entre las familias para la implementación de programas enfocados al manejo de los recursos forestales de su entorno. La diversidad indígena en México tiene expresiones significativas en la organización social, que son simbolismos de identificación cultural, y que ponen de manifiesto la afirmación étnica de esta población, la cual, dada su complejidad social y cultural, supera cualquier registro estadístico (Sandoval, 2005). El grupo otomí es parte de los pueblos originarios de México y se caracteriza por su interacción con elementos de la naturaleza, cosmovisión, conocimiento y manejo del ambiente y su organización social.

De acuerdo con lo expuesto en los párrafos anteriores fue integrado el presente libro, el cual contiene conceptos básicos, fundamentos teóricos y modelos, relacionados con los procesos de cambio de uso del suelo. Una parte del contenido fue obtenida de la investigación sobre los procesos de cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada en el Ejido Agua Bendita, perteneciente al municipio de Amanalco, Estado de México. El propósito de este libro es exponer la importancia de incluir fundamentos teóricos en los estudios de cambio de uso del suelo, hacer referencia al uso de métodos, técnicas, herramientas y modelos, y señalar la

relevancia del trabajo de campo. Se incluyen datos de la investigación realizada en el Ejido Agua Bendita, ya que es un estudio de caso peculiar a nivel local que representa un ejemplo real para otras comunidades mexicanas, pues los resultados son diferentes a los que con frecuencia se reportan en otros estudios, en los cuales, la mayoría de las veces, se exponen datos alarmantes que ponen de manifiesto el deterioro de los componentes del ambiente, en particular el suelo y la vegetación.

Este libro se sustenta en la geografía ambiental (Bocco & Urquijo, 2013), geografía rural (Clout, 1976), geografía económica (George, 1974), ecología cultural (Steward, 1955; 1959; 1972), geografía cultural (Sauer, 19), ecología forestal (Spurr & Barnes, 1982), ecología humana (Theodorson, 1974), la teoría de los sistemas complejos (García, 2006), así como en fundamentos de procesos socioambientales, cambios de uso del suelo y desarrollo local sustentable, estableciendo interacciones que coadyuvieron al análisis de los procesos de cambio de uso del suelo. El sustento teórico fue complementado con la aplicación de métodos: geográfico, ecológico, cartográfico, estadístico, comparativo, etnohistórico; técnicas de trabajo de campo (observación directa y toma fotográfica), percepción remota, cartografía automatizada, herramientas de sistemas de información geográfica, y registros en campo con equipo de medición y precisión.

Se realizaron recorridos por todos los entornos naturales de la localidad y observaciones en el cien por ciento de los espacios agrícolas y forestales y aplicación de treinta y ocho entrevistas a las familias, con la finalidad de recopilar información primaria sobre conocimiento del ambiente, beneficios del programa de manejo forestal, aprovechamiento de los recursos naturales, servicios ambientales, procesos agrícolas, subsistencia campesina, procesos de cambio de uso del suelo y desarrollo local sustentable.

La caracterización geográfica, ecológica, ambiental y sociocultural se realizó con el método geográfico (Higuera, 2003), el método de la ecología cultural (Steward, 1955), y la geografía ambiental (Bocco & Urquijo, 2013), complementándose con el uso del equipo de medición de precisión (DGPS), el cual permitió verificar y representar espacialmente los elementos más significativos de la localidad. Con la técnica de cartografía automatizada se hizo la representación espacial de la superficie ejidal.

El método etnohistórico fue utilizado para conocer las características socioculturales del Ejido, en especial las vinculadas con su origen y antecedentes, los procesos socioambientales del programa de manejo forestal y las condiciones para transitar hacia el desarrollo local sustentable.

El método ecológico fue útil para identificar y conocer directamente en campo los ecosistemas agrícolas (de riego y temporal), tanto tradicionales como comerciales (invernaderos), los ecosistemas naturales (bosques), las plantaciones forestales comerciales, los ambientes acuáticos.

Este libro consta de cinco capítulos. En el primero se describen de manera general algunos conceptos relacionados con el uso del suelo, cobertura del suelo, impulsores de cambio de uso del suelo, e impactos ambientales que provocan los procesos de cambio de uso del suelo. Al final del capítulo se exponen algunos estudios de caso para reconocer su importancia.

El capítulo dos contiene el sustento teórico de los procesos de cambio de uso del suelo, haciendo énfasis en distintos enfoques y principios que pueden ser aplicados en la realización de investigaciones y estudios, en diversas escalas. Se incluyen fundamentos de geografía ambiental, rural, económica, y cultural; así como de ecología cultural, forestal, y humana; y las teorías más importantes que deben sustentar los estudios de cambio de uso del suelo.

En el capítulo tres se exponen desde una dimensión general los métodos, técnicas, herramientas y modelos útiles para el análisis y evaluación de los procesos de cambio de uso del suelo. Se presentan algunos estudios realizados en distintos contextos: locales, regionales, nacionales e internacionales. Esto con la finalidad de identificar los modelos, los métodos utilizados en su desarrollo y su enfoque.

En el capítulo cuatro se presenta el estudio de caso, describiendo características geográficas, biogeográficas, ecológicas, ambientales, biológicas, demográficas y socioculturales del Ejido Agua Bendita, en el contexto de la Zona de Transición Mexicana. Se hace énfasis en su origen y antecedentes como procesos y elementos clave de su prosperidad. También se señala que su ubicación estratégica le confiere amplia diversidad de ecosistemas, paisajes y disponibilidad de recursos naturales.

El capítulo cinco contiene la metodología empleada en el estudio de caso (cambio de uso de suelo y grado de cobertura en Ejido Agua Bendita, Amanalco, Estado de México). Se hace un análisis general de los resultados y su asociación con fundamentos teóricos, métodos, herramientas, técnicas y modelos vinculados con los procesos de cambio. En la mayoría de los países de América Latina, los cambios de uso del suelo son drásticos y alarmantes, pues casi siempre, hacen referencia a pérdidas de bosques, espacios agrícolas, disminución del área y volumen de los cuerpos de agua, asociados a la generación de impactos ambientales que, independientemente de afectar a las condiciones originales del suelo, lo deterioran en grado significativo.

En la última parte del libro se incluyen algunas reflexiones de interacción entre los fundamentos teóricos, métodos, técnicas, herramientas, modelos y datos obtenidos en trabajo de campo. Algunas contribuciones de este libro están vinculadas con la aplicación y discusión de los fundamentos teóricos que coadyuvan al análisis y comprensión de los procesos e impulsores que inducen a los cambios de uso de cobertura y uso del suelo. Al final, se establece que el cambio de uso del suelo y la transición hacia el desarrollo local sustentable en las localidades que conforman

el Ejido Agua Bendita es influido por la organización social de las familias originarias del grupo otomí. La reconversión forestal ha coadyuvado a la recuperación de la cubierta forestal del terreno, y, por consiguiente, ha incidido en la transición hacia el desarrollo local sustentable.

Capítulo I

Conceptos básicos de cambio de uso del suelo

Situación ambiental actual

El ser humano rara vez se siente parte del entorno natural, con excepción de unas pocas comunidades y grupos originarios ancestralmente involucrados con el bosque. Un mosaico antrópico complejo, con orígenes muy diversos, habita los bosques latinoamericanos e interactúa cotidianamente con estos ecosistemas. Como consecuencia de la necesidad abrumadora de recursos, el hombre adopta una visión extremadamente antropocéntrica del bosque y, por consiguiente, el manejo que hace del mismo es simple, previsible y consistente, en la mayoría de los casos. Se extrae madera del bosque, se habilita y acondiciona el suelo para fines agrícolas, se utilizan pequeñas parcelas por unos cinco años —agricultura itinerante—, que después son convertidas en pastizales para el ganado, y al final, las áreas que al inicio estaban ocupadas con bosques primarios son abandonadas. No sólo la deforestación, sino la caza y la pesca indiscriminadas amenazan los bosques latinoamericanos; y, en consecuencia, se altera el microclima local y desaparece la fauna silvestre de una manera irreversible. Es evidente, entonces, una ausencia de empoderamiento del recurso forestal, poniendo en duda el paradigma del desarrollo sostenible (CIESI, 2013).

Situaciones similares a la anterior, ocurren con frecuencia en espacios geográficos rurales de países latinoamericanos, en específico, los que poseen amplias extensiones de bosques y selvas. La problemática ambiental está presente en todas las regiones del Continente Americano, y no se puede afirmar en qué países la gravedad de esta situación es mayor, ya que los problemas están asociados a una diversidad de factores, tanto intrínsecos como extrínsecos.

Se dice que, a nivel global, el cambio de uso del suelo es la principal amenaza para las próximas décadas (Sala, 2008, citado en García, 2015), lo que hace reflexionar sobre la magnitud de la influencia que ejerce esta problemática sobre otros procesos como pérdida de la biodiversidad, disminución en la generación de servicios ambientales, fragmentación de hábitats silvestres, pérdida de la cubierta arbolada, modificaciones al clima, entre otros (Antonio, Treviño &

Jurado, 2008). Por otra parte, en el año 2020, la población mundial es un tercio mayor a la de 1995, pero la demanda de tierras para la producción de alimentos y la ocupación urbana ha incrementado en proporción aún más elevada (Scherr, 1999). Esta situación se refleja en una importante presión sobre las superficies cubiertas con vegetación.

En el mismo contexto, cabe señalar que desde el comienzo de la Revolución Industrial el cambio de uso del suelo se ha acelerado de manera importante. En la actualidad, están siendo deforestadas millones de hectáreas por año a una escala que nunca tuvo precedentes. Esto, como respuesta a la demanda de alimentos, vivienda y espacios territoriales para satisfacer las necesidades de supervivencia. Por ejemplo, hay una demanda importante por aumentar tanto la superficie agrícola como la destinada para viviendas, y a menudo la manera de hacerlo es a través de la deforestación (Sala, 2008).

Estudios relacionados con la degradación ambiental, efectuados en diferentes épocas y con distintas escalas de trabajo, evidencian una crisis ambiental que se manifiesta en la pérdida de la capacidad de reversibilidad del planeta, pues se está deteriorando la posibilidad de autorregulación. Se considera que los factores que determinan el paso de los umbrales y límites de estabilidad y desencadenamiento generalizado y catastrófico de la crisis son las condiciones geoecológicas, la degradación ambiental, el deterioro de la calidad y la disponibilidad de recursos naturales. Los mecanismos de generación de catástrofes ambientales a escala planetaria se están manifestando a través de la ampliación de crisis ambientales de carácter local y regional. Uno de los procesos que reflejan lo anterior es el cambio de uso del suelo (Mateo, 2002, citado en García, 2015).

A nivel mundial, el deterioro ambiental y las alteraciones a los ecosistemas han sido significativos, por ejemplo, a partir de 1850, han ocurrido pérdidas importantes del área boscosa en Latinoamérica, problemática relacionada con la expansión de los centros poblacionales (Cantín, Ordenes, Quijada & Rodríguez, 2003), así como el incremento en la demanda de productos forestales para los procesos industriales.

Conceptos de uso del suelo y cobertura del suelo

En este apartado se presenta un esbozo general relacionado con el uso del suelo, cambio de uso del suelo, cambio de cobertura y los impactos que provocan las actividades y procesos de cambio en el uso del suelo. La intención de esta información no es definir o conceptualizar de manera precisa, clara y concreta los aspectos relacionados con este problema, sino exponer que existe amplia diversidad de enfoques, conceptos y términos, que pueden coadyuvar a explicar el qué y por qué de estos cambios.

Con frecuencia los conceptos “uso del suelo” y “cobertura del suelo” son utilizados para hacer estudios e investigaciones relacionadas con los procesos de cambio de cobertura y cambio de uso del suelo, la transformación del paisaje y los impactos que éstos ocasionan. A nivel internacional existen múltiples definiciones de estos conceptos; sin embargo, lo más importante es tener presente que ambos se refieren a lo que contiene el suelo —que es la superficie terrestre donde se desarrolla la vida vegetal, animal y la sociedad humana—.

Con base en la literatura consultada, tanto a nivel internacional como nacional, los términos cobertura del suelo y uso del suelo con frecuencia se confunden o son utilizados indistintamente. La cobertura del suelo se refiere a la cobertura física y biológica observada en la tierra y ; asimismo, a la vegetación o las características hechas por el hombre (antrópicas). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) afirma que el uso del suelo se refiere a la función o propósito para el cual el suelo es utilizado por la población humana local y puede definirse como las actividades humanas relacionadas directamente con el suelo, haciendo uso de sus recursos o incidiendo en ellos (FAO, 1995, citado en Briassoulis, 2019).

La cobertura del suelo es el estado biofísico de la superficie terrestre y el subsuelo inmediato (Turner, Skole, Sanderson, Fischer, Fresco & Leemans, 1995, citados en Briassoulis, 2019). A esta definición, Meyer y Turner (1996) agregan que la cobertura del suelo comprende el tipo y la cantidad de vegetación superficial, el agua y materiales terrestres. Inicialmente el concepto de cobertura del suelo hacía referencia a la vegetación presente en la superficie terrestre. Posteriormente, se le han agregado otros elementos como las estructuras humanas, edificios, pavimento y otros elementos del entorno físico, como la biodiversidad y las aguas subterráneas (Mosser, 1996).

El uso del suelo implica la manera en que la sociedad, a través de sus actividades, manipula los atributos biofísicos. Al respecto, (Meyer, 1995, citado en Briassoulis, 2019) dice que el uso del suelo es la forma y el propósito para el cual los seres vivos emplean el suelo y sus recursos. El uso del suelo hace referencia al empleo humano de la tierra (Turner y Meyer, 1994, citados en Briassoulis, 2019). Otros autores como Skole (1994, citado en Briassoulis, 2019) dicen que el uso del suelo se refiere al empleo humano de la cobertura del suelo, medio por el cual la actividad humana se apropia de la producción primaria neta, situación determinada por un complejo de factores socioeconómicos.

En la literatura internacional y nacional, relacionada con el cambio de cobertura y los procesos de cambio de uso del suelo, existe multitud de descripciones asociadas con el uso del suelo; sin embargo, lo más común entre éstas, es que todas hacen referencia a que el uso del suelo es el tipo de actividades que realizan las

personas sobre la superficie terrestre (suelo), —por ejemplo, la agricultura, la forestería, la ganadería, la minería, la urbanización—. Es el uso de los componentes de la superficie terrestre, por parte de las personas. Este uso comprende aspectos de gestión y modificación del ambiente —en particular, los componentes del suelo—, para convertirlo en un entorno construido (sociocultural). Ejemplos de ellos son los campos con cultivos agrícolas, pastizales para el ganado y el establecimiento de infraestructura para los asentamientos humanos.

En México, a la forma en la que se emplea un terreno (suelo) y su cubierta vegetal se le conoce como “uso del suelo” (SEMARNAT, 2010).

En los últimos cincuenta años, los seres humanos hemos transformado los ecosistemas del mundo a un ritmo más rápido y extenso que en ningún otro periodo de la historia. Las rápidas y profundas transformaciones, con efectos en ciertos casos aún desconocidos, han impactado procesos ambientales locales, regionales y globales, acelerando la pérdida de la biodiversidad y provocando la pérdida o deterioro de muchos servicios ambientales como la disponibilidad del agua, la regulación del clima y la regulación de los ciclos biogeoquímicos, entre otros (SEMARNAT, 2010).

El cambio de uso del suelo se refiere al proceso de transformación de la cubierta vegetal existente en un lugar determinado para convertirla en otros usos diferentes al natural —original—. Este proceso igualmente puede provocar la degradación de la calidad de la vegetación, alterando —modificando— la densidad y composición florística. Los factores más estudiados y conocidos, asociados con los procesos de cambio de uso en el suelo —y desde luego, de la vegetación—, son la agricultura, ganadería, apertura y ampliación de infraestructura para asentamientos humanos, comerciales e industriales. Las consecuencias más evidentes del cambio de uso del suelo se exponen en párrafos posteriores, siendo relevantes la pérdida de la biodiversidad y afectaciones a los servicios ambientales y servicios ecosistémicos.

El cambio de uso del suelo implica cambios significativos en el uso del suelo —terreno—. Un ejemplo notable es la conversión de un bosque para el establecimiento de infraestructura destinada a la vivienda o la eliminación del bosque nativo para la apertura de tierras de uso agrícola, pecuario, o servicios de beneficio social.

El cambio de uso del suelo se refiere al total de arreglos, actividades e insumos que las personas realizan en un determinado tipo de cobertura del suelo (FAO, 1997a; FAO/UNEP/WMO, 1999, citados en IPCC, 2000).

El estudio de los procesos de cambio de uso del suelo no es reciente. Este ha sido desarrollado por diversos investigadores, especialistas e instituciones nacionales e internacionales, como consecuencia de haber demostrado que estos procesos generan extensa diversidad de efectos, alteraciones e impactos.

Los estudios de cambio en el uso del suelo pueden realizarse en seis etapas: descripción, explicación, predicción, evaluación de impactos, prescripción y evaluación (Briassoulis, 2019). Desde luego, en cada una de éstas, las actividades, métodos, técnicas, registros, herramientas y resultados obtenidos deben vincularse con el objeto, propósito, dimensiones, escalas y metodología utilizada. Independientemente de estas etapas y las actividades correspondientes a cada una, se debe considerar la predicción —escenarios— de cambios hacia mediano y largo plazos —escenarios futuros—.

Con relación a las dimensiones del estudio de los procesos de cambio de uso del suelo, la predicción o escenarios a futuro pueden estar asociados a múltiples problemas del mundo contemporáneo; por ejemplo, con cambio climático, contaminación ambiental, crecimiento de la población, producción de alimentos (soberanía y seguridad alimentaria), plantaciones forestales, servicios ecosistémicos, procesos de urbanización, evaluaciones de impacto ambiental, transformación del paisaje, reconversión forestal, reconversión agrícola, entre otros.

Desde el momento en que iniciaron los estudios de cambio de cobertura y cambios de uso en el suelo, ya habían aparecido los problemas ambientales. Los procesos de cambio de uso del suelo generan diversos problemas, tanto ambientales como socioeconómicos —incluyendo aspectos culturales—. Por ello, en años recientes, el diseño e implementación de políticas para abordar y tratar con más detalle esta situación ha emergido como una actividad científica significativa (Briassoulis, 2019) y de importancia en el ámbito académico.

El interés político reciente, preocupante, y específico en la mayor parte de los países, es la sostenibilidad del desarrollo —desarrollo sostenible—, situación que es afectada de manera directa e indirecta por varios factores, en particular, por los relacionados con los cambios de cobertura y cambio de uso del suelo, así como por las políticas implementadas (Briassoulis, 2019).

Los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación son el referente para conocer las trayectorias de distintos procesos asociados con la deforestación, degradación y perturbación de los bosques, erosión y desertificación del suelo, y pérdida de la biodiversidad (Lambin *et al.*, 2001). Estos procesos de transformación o cambio que experimentan las coberturas vegetales y usos del suelo de un determinado territorio, región, o comunidad, son considerados en muchos países como una de las principales causas que coadyuvan al deterioro ambiental; por ello están ubicados en el centro de la investigación ambiental (Nájera, Bojórquez, Cifuentes & Marceleño, 2010, citados en Camacho, 2014). Es evidente que, durante las últimas décadas, las actividades antrópicas se han convertido en el principal desencadenador de las transformaciones de los ecosistemas terrestres, por encima de los fenómenos naturales (Vitousek, Mooney, Lubchenco & Melillo, 1997, citados en Camacho *et al.*, 2014).

El desarrollo de investigaciones asociadas con los cambios ocurridos en las cubiertas terrestres y usos del suelo de un determinado espacio geográfico y en una dimensión temporal requiere, principalmente, del uso y manipulación de distintos insumos cartográficos; sobre todo, de mapas de uso de suelo y vegetación, pues es a partir de estos que los especialistas en la materia, así como las autoridades responsables del uso y manejo de los recursos naturales, establecen e implementan políticas orientadas al aprovechamiento y conservación de los mismos (Millington y Alexander, 2000, citados en Camacho *et al.*, 2014).

El análisis de los procesos de cambio de uso del suelo debe hacerse con varios propósitos y finalidades; por ejemplo, evaluar los factores que los originaron en el pasado, que los provocan en el presente o que los ocasionarán en el futuro —impulsores políticos—. Esto, con base en los patrones de uso del suelo, sus efectos, consecuencias e impactos, como son los casos del deterioro ambiental, el declive económico, el empobrecimiento social o las afectaciones en la sostenibilidad del desarrollo (Briassoulis, 2019).

En las indagaciones de cambio de uso del suelo no siempre se utilizan definiciones o descripciones similares de los términos suelo, uso del suelo, cobertura, y cambio de uso del suelo. Las definiciones y descripciones de estos términos varían en función de los propósitos y objetivos de la aplicación y el contexto de su uso. Ante esta situación, es necesario hacer precisiones y buscar definiciones y descripciones alternativas de los términos que se utilizan con más frecuencia en las investigaciones de la materia. Para evitar incongruencias deben utilizarse los datos e información provenientes de fuentes oficiales especializadas (Briassoulis, 2019).

En las investigaciones debe considerarse que el uso del suelo implica tanto la manera en que se manipulan los elementos biofísicos del mismo y, en consecuencia, la intención de la manipulación (Briassoulis, 2019).

Cobertura del suelo

En el análisis de cambio de uso del suelo deben considerarse varios factores o impulsores, en los cuales se deben aclarar los conceptos. Con relación al concepto de cobertura (Meyer y Turner, 1994, citados en Briassoulis, 2019) afirman que debe ser entendida como la categorización física, química o biológica de la superficie terrestre, por ejemplo, pastizales, bosques o concreto, mientras que el uso del suelo se refiere a los fines humanos asociados con esa cubierta.

La importancia y necesidad de distinguir entre el uso del suelo y la cobertura es indispensable en los estudios de análisis de los impactos ambientales ocasionados por los cambios de la segunda. En este sentido, deben distinguirse las similitudes y diferencias entre ambos conceptos. Esto, como una estrategia para evitar confusiones en su interpretación, uso, y aplicación.

La distinción entre uso cobertura del suelo, aunque es relativamente fácil de hacerse a nivel conceptual, no es tan sencillo en la práctica, ya que los datos disponibles, tanto en las fuentes académicas como en las oficiales, no hacen una distinción de modo preciso, claro y concreto, hecho que en ocasiones complica el análisis de cualquiera de ellos. A nivel global, las fuentes de datos no distinguen con precisión entre cubierta y uso, pues generalmente, se utilizan de manera indistinta (Briassoulis, 2019).

En el contexto de la cubierta y el uso del suelo, el significado y la conceptualización que se relacionan con los procesos de cambio son muy variados. En el caso del cambio, la literatura existente refiere dos tipos: conversión y modificación. De modo similar, el cambio en el uso del suelo puede implicar la conversión de un tipo de uso a otro diferente; es decir, en la práctica son notorios los cambios en la mezcla y patrón de usos del suelo en un área —o la modificación—.

En el caso de uso del suelo agrícola, Jones y Clark (1997, citados por Briassoulis, 2019) proporcionan una tipología cualitativa de cambios de uso del suelo: intensificación, extensificación, marginalización, y abandono. Con fundamento en esta clasificación, es relevante hacer un análisis de los modos en que el uso del suelo se relaciona con el cambio de cobertura del suelo, esto a distintas escalas espaciales y temporales.

La identificación y explicación de los vínculos y asociaciones entre los impulsores que ocasionan el cambio de cobertura y los procesos de cambio de uso del suelo deben ser precisas, y, por lo consiguiente, identificarse en contextos particulares las condiciones espaciales y temporales. Esto, con el propósito de hacer un análisis integral de la interacción entre cada uno de ellos.

Los procesos de cambio de uso en el suelo son generados por diversas causas y propósitos —multicausales—. La conversión de suelos agrícolas a usos urbanos —prioritariamente— es influida y determinada por múltiples impulsores. Uno de ellos, es la decisión de los mismos propietarios de terrenos con vocación agrícola para convertir los suelos con cultivos —suelos agrícolas— a usos no agrícolas, en especial a usos urbanos.

A nivel global, regional o local, los incrementos graduales en los cambios de uso del suelo con cultivos a grandes escalas y largo plazo pueden provocar muchos efectos graves; por ejemplo, el abandono de los suelos o un deterioro grave de los mismos —procesos erosivos—.

Impulsores de cambio de uso del suelo

Es notorio que en los procesos de cambio de uso del suelo intervienen diversos factores que pueden ser denominados impulsores, determinantes o fuerzas impulsoras, aunque el significado de cada uno de estos no siempre es preciso, pues mantienen

interacciones entre sí. Por tanto, es pertinente hacer distinciones concretas entre ellos. En el caso de los impulsores, estos hacen referencia al origen de los cambios en la cobertura de uso del suelo, teniendo presente que estos pueden ser biofísicos o socioeconómicos. Los impulsores biofísicos —de origen natural—, en términos generales no provocan cambios de uso de suelo de manera directa (Briassoulis, 2019).

Los impulsores biofísicos incluyen un sinnúmero de características y procesos del entorno natural, siendo representativos los factores del clima y variaciones climáticas, fenómenos hidrometeorológicos, condiciones de relieve, topografía, procesos geomorfológicos, erupciones volcánicas, sucesión de plantas, tipos y procesos de suelo, drenaje, disponibilidad de recursos naturales, entre otros (Briassoulis, 2019).

En el caso de los impulsores socioeconómicos, éstos se refieren a factores y procesos demográficos, sociales, económicos, políticos e institucionales, siendo importantes la población y cambio de población, la estructura y cambio industrial, infraestructura urbana, tecnología y cambio tecnológico, la familia, el mercado, organismos del sector público y las políticas, reglas, valores, organización comunitaria, normas y régimen de propiedad (Briassoulis, 2019).

Independientemente de los impulsores de cambio, en el contexto del estudio de los cambios de uso del suelo o cambios de cobertura del suelo existen otros factores o condiciones que los propician. En este sentido, suelen haber fuerzas humanas impulsoras, fuerzas humanas de mitigación y fuerzas humanas próximas (Briassoulis, 2019). Ante este sinnúmero de factores, es necesario distinguir las diferencias y similitudes en las fuerzas referidas que interactúan en los procesos.

En el rubro de las principales fuerzas humanas impulsoras, existen muchas. No obstante, cabe destacar que los siguientes aspectos son relevantes: cambio de población, cambio tecnológico, organización sociocultural y socioeconómica —instituciones económicas y de mercado, economía política, ecología, instituciones políticas—.

Las fuerzas humanas mitigantes están relacionadas con la regulación desde lo local a lo internacional. En este caso, los ajustes del mercado, las innovaciones tecnológicas y la regulación social informal, a través de normas y valores. Estas fuerzas son consecuencia de las actividades finales agregadas que resultan de la interacción de las fuerzas de mitigación y la conducción humana, las cuales causan en forma directa transformaciones ambientales a través del uso de los recursos naturales.

Las fuerzas impulsoras próximas más representativas y asociadas con los procesos de cambio en el uso del suelo son: la quema de biomasa, aplicación de fertilizantes, transferencia de especies, rotación del suelo con arado, riego, drenaje, pastoreo de ganado, mejoramiento de pasto (Turner y Meyer 1994, citados en Briassoulis, 2019), deforestación y abandono del sitio (Skole 1994, citado en Briassoulis, 2019), ruptura de grandes extensiones de pastizales, expansión de cultivos que promueven la erosión (maíz, remolacha azucarera), agricultura de cam-

pos en la línea de otoño (Lehmann y Reetz, 1994, citados en Briassoulis, 2019), urbanización, suburbanización, desarrollo marginal urbano, incendios, entre otros.

La variedad de fuerzas impulsoras que actúan sobre los procesos de cambio no son independientes, sino complementarias entre sí, pues en ocasiones una fuerza impulsora depende de la acción y efectos de otra u otras. El uso del suelo y la cobertura del suelo están conectados a través de las causas próximas del cambio que traducen los objetivos de uso del suelo en estados físicos cambiantes de cobertura del suelo. El cambio en el uso que impulsa el cambio de la cubierta está conformado por fuerzas humanas impulsoras que determinan la dirección e intensidad del uso del suelo (Turner y Meyer 1994).

Impacto de los cambios de uso del suelo

En décadas recientes, se conoce que los procesos de cambio de uso del suelo, cambio de cobertura y transformaciones del paisaje ocurridas a distintas escalas espaciales —local, regional, global— en tiempos pretéritos han provocado y continúan provocando efectos negativos —impactos—, tanto al ambiente como a la sociedad y su cultura.

Los procesos de cambio de uso del suelo provocan impactos ambientales y socioeconómicos. De hecho, fueron los impactos negativos los que estimularon el interés científico y político por el estudio de los procesos de cambio de uso del suelo. En concordancia con las acciones pretéritas y como lo establecen Kates, Turner & Clark (1990, citados en Briassoulis, 2019) "los suelos de la tierra llevan las huellas más visibles, si no necesariamente las más profundas, de las acciones de la humanidad". Los efectos e impactos visibles en la actualidad, tuvieron lugar en el pasado.

Los impactos de cambio en el uso del suelo se clasifican en ambientales y socioeconómicos —entre estas dos categorías están incluidos múltiples impactos—, siendo más atendidos los primeros que los segundos. Una de las razones de este desequilibrio en la atención puede ser que los impactos socioeconómicos son más sutiles, a más largo plazo, y están sujetos a la influencia de factores más complejos y menos visibles y verificables que los impactos ambientales.

Es notorio que los impactos ambientales y los impactos socioeconómicos con frecuencia están relacionados, toda vez que los de tipo socioeconómico influyen en la generación de los primeros y viceversa, situación que provoca cadenas sucesivas de cambio en el uso y la cubierta del suelo. En el mundo contemporáneo ocurren muchas cadenas sucesivas, algunas con efectos muy graves y, en ocasiones, irreversibles. Un ejemplo de cadenas de impactos ambientales y socioeconómicos del cambio en el uso del suelo es el de los agricultores itinerantes en América Latina y otras partes del mundo. En este sentido, la secuencia del cambio en el uso del suelo inicia con la tala de bosques, continua con el

establecimiento de cultivos agrícolas —subsistencia familiar-autoconsumo—, sigue con el pastoreo intenso y, en última instancia, el abandono del suelo y el movimiento de las personas a otro lugar (Blaikie y Brookfield 1987, citados por (Briassoulis, 2019).

Los impactos ocasionados por el cambio de uso del suelo se distinguen de acuerdo con el nivel espacial —escala— en el que se manifiestan —global, regional y local—. Es conveniente considerar que estos niveles de análisis no tienen un significado físico preciso en los estudios de cambio de uso del suelo; en especial, entre lo regional y lo local, pues en cuestiones del espacio geográfico es difícil determinar límites precisos, con excepción de los de tipo administrativo. Para fines de estudio y delimitación entre lo global, regional y local, se pueden referir los siguientes ejemplos: una región puede ser una subdivisión del mundo (América Latina, China, el Sahel, biomas del mundo) o una subdivisión de una nación grande (por ejemplo, un Estado o un grupo de Estados de EE.UU.) o, incluso, una subdivisión subregional de la región de una nación (Briassoulis, 2019).

Desde el punto de vista del análisis de los efectos e impactos del cambio en el uso del suelo, una región puede definirse de acuerdo con sus características ambientales, siendo relevantes, la región mediterránea y la región báltica. Situación similar ocurre en las áreas locales, donde lo local se usa como lo opuesto a lo global (Briassoulis, 2019). Lo regional puede delimitarse a partir de la división territorial de una provincia, un departamento o una entidad. En el caso de México, el Bajío es una región importante de producción agrícola.

Los procesos y actividades relacionadas con el cambio de uso del suelo generan una multitud de impactos ambientales en los niveles espaciales más bajos de las zonas urbanas, áreas suburbanas, rurales y de espacios abiertos. Particularmente importantes son los cambios en el uso del suelo (conversión) que ocurren en la periferia de grandes concentraciones urbanas, que están sujetas a las presiones de urbanización e industrialización y con frecuencia resultan en pérdidas de tierras agrícolas de alta productividad y cobertura arbórea.

Los impactos ambientales asociados con el cambio de uso del suelo incluyen cambios en el equilibrio hidrológico de la zona, aumento del riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra —remoción en masa—, contaminación del aire, contaminación del agua, entre otros. A nivel local, el cambio de uso del suelo incluye la erosión, sedimentación, contaminación y salinización del suelo y las aguas subterráneas, la extinción de especies nativas, la contaminación marina y acuática de los cuerpos de agua locales, la erosión costera y la polución de esta zona. La importancia de los impactos no está restringida al área local de interés y en el tiempo en que están ocurriendo, ya que con frecuencia son acumulativos y derivados de las decisiones de los propietarios individuales de las tierras (Briassoulis, 2019).

Los cambios de uso del suelo en un área determinada pueden provocar repercusiones ambientales en espacios distantes; por ejemplo, la urbanización o el desarrollo turístico en un área incrementa la demanda de agua, que, en caso de no estar disponible en ese lugar, debe ser obtenida de otras áreas (adyacentes o distantes). El exceso de extracción de agua reduce el agua disponible para la agricultura y el crecimiento de las plantas en el área de extracción y puede inducir a la intrusión de agua salada en las zonas costeras (Briassoulis, 2019).

Además del medio ambiente, los impactos socioeconómicos provocados por el cambio de uso del suelo son igualmente significativos y suscitan serias preocupaciones en todos los niveles espaciales. Los impactos socioeconómicos a nivel mundial se refieren a cuestiones de seguridad alimentaria, escasez de agua, desplazamiento de la población y, en general, al tema de la seguridad humana y vulnerabilidad a los riesgos naturales y tecnológicos. Los problemas de seguridad alimentaria y escasez de agua pueden surgir de las reducciones en el área de tierras agrícolas y de la disminución de los suministros de agua disponibles que resultan de la erosión del suelo, su degradación, desertificación, industrialización, urbanización, suburbanización y, sobre todo, del manejo pobre de los recursos ambientales (Briassoulis, 2019).

Los impactos ambientales vinculados con los procesos y actividades de cambio de uso del suelo también tienen implicaciones directas y graves en la seguridad y vulnerabilidad humana. En este caso, la vulnerabilidad es un término utilizado para denotar todos los factores que pueden poner en riesgo a la salud humana y el bienestar de las personas en un lugar determinado (Briassoulis, 2019).

Los procesos de cambio de uso del suelo y el sinnúmero de efectos que estos implican provocan múltiples impactos ambientales y socioeconómicos, que no siempre son significativos en el lugar donde se generan, ni en el tiempo esperado; por ejemplo, el desarrollo del turismo en tierras anteriormente agrícolas provoca impactos socioeconómicos poco visibles, ya que se originará mayor dependencia de la región turística de productos agrícolas no producidos en el contexto local y mayores presiones para la producción de cultivos —los alimentos de origen agrícola deberán traerse de otras regiones—. A nivel local los impactos socioeconómicos y ambientales pueden actuar de manera acumulativa y causar daños mayores a largo plazo.

En la actualidad, muchos aspectos importantes a nivel global están relacionados con los impactos que provoca el cambio de uso del suelo. Uno de ellos, es la sostenibilidad del desarrollo en todos los niveles espaciales, por lo que es importante y urgente encontrar el equilibrio entre los objetivos sociales, económicos, ambientales, el uso del suelo y los cambios que ocurren en éste (Briassoulis, 2019).

Los impactos humanos en dicho ámbito se han denominado formas sistémicas de cambio global (Turner, Clark, Kates, Richards, Mathews & Meyer, 1990).

Son globales en el sentido de que la intervención y acción en un punto puede afectar a todos los componentes del sistema, teniendo repercusiones físicas directas en el otro lado del planeta. Los autores señalan que, incluso en el sentido estrecho y sistémico del cambio global, los impactos de cambio de uso del suelo pueden ser de naturaleza mundial, ya que muchos usos del suelo —agricultura, pastoreo y silvicultura— liberan cantidades sustanciales de gases, lo cual influye en el cambio climático. Se requiere una comprensión profunda de los sistemas de uso y cobertura del suelo afectados para evaluar, desde un enfoque sistémico, los impactos ambientales y otros fenómenos globales preocupantes; por ejemplo, el aumento del nivel del mar, el agotamiento del ozono estratosférico (Meyer y Turner 1996, citados por Briassoulis, 2019) o la desertificación.

En las últimas décadas, son notorios y significativos fenómenos ambientales a grandes escalas como la degradación del suelo, la desertificación, la pérdida de la biodiversidad, la destrucción del hábitat y la transferencia de especies (Meyer y Turner 1996, citados en Briassoulis, 2019), problemas que ocurrieron en el pasado.

A nivel regional, los impactos ambientales del cambio de cobertura y en el uso del suelo también son significativos y con frecuencia conocidos, sobre todo por sus efectos y consecuencias. Las fuentes de los impactos regionales pueden no siempre estar ubicadas en la región receptora, sino en regiones muy distantes.

Varios de los impactos regionales del cambio en el uso del suelo no se manifiestan en el momento, sino que tardan en aparecer y ser percibidos por la sociedad, como es el caso de la contaminación química del suelo y el fenómeno llamado "bombas de tiempo químicas". Este fenómeno se relaciona con posibles cadenas de eventos que responden a alteraciones ambientales lentas, lo que resulta en la ocurrencia tardía y repentina de efectos dañinos, debido a la movilización de productos químicos depositados en suelos y sedimentos (Hesterberg, Stigliani & Imeson, 1992; Stigliani, 1991).

La magnitud, intensidad y efectos de los impactos socioeconómicos provocados por el cambio de uso del suelo generan consecuencias desiguales y diferentes en las tres escalas espaciales, y también en las escalas temporales. A nivel regional y local, los impactos son más variados, situación que también refleja la diversidad de entornos donde ocurren los cambios.

Los impactos socioeconómicos provocados por el cambio de cobertura y los procesos de cambio en el uso del suelo a nivel local suponen preocupaciones similares a las que imperan a nivel regional; sin embargo, están restringidos de manera puntual a las comunidades particulares donde se generan los cambios.

El tema de la conversión zonas agrícolas a urbanas y otros usos específicos —turismo o actividades pecuarias— ha recibido atención especial; además, es preocupante porque los impactos ambientales mencionados en los párrafos anteriores también causan serios impactos socioeconómicos, en ambas zonas.

Antes de finalizar este apartado es conveniente tener presente que todas las actividades humanas asociadas con un proyecto, plan, programa, disposición oficial o normatividad siempre provocarán impactos de distinta índole. Un aspecto importante que debe destacarse es que usualmente se supone que los impactos ocasionados por el cambio de cobertura y los procesos de cambio de uso del suelo son negativos, aunque esto no siempre es cierto por dos razones: si un impacto es positivo o negativo depende de la escala espacial y temporal en cuestión; y las fuerzas humanas de mitigación, como la regulación y las políticas ambientales y sociales, los proyectos de restauración de suelos y actividades similares pueden impedir la influencia negativa de las fuerzas humanas impulsoras y, por consiguiente, mitigar —si no eliminar—, las consecuencias no deseadas del cambio de uso del suelo.

En síntesis, los impactos negativos, tanto ambientales como socioeconómicos, ocasionados por el cambio de cobertura y cambio en el uso del suelo disminuyen la transición o el logro de la sostenibilidad del desarrollo, ya que erosionan la base de los recursos ambientales y los componentes socioeconómicos —incluyendo los rasgos socioculturales— de un área y, por supuesto, reducen su capacidad de satisfacer de forma equitativa las necesidades de su población, a corto y largo plazo.

El inicio de los estudios de cambio de uso del suelo

Los estudios de cambio de cobertura del suelo y cambio de uso del suelo no son recientes, tienen sus fundamentos y antecedentes en el contexto internacional. Entre los pioneros más conocidos del estudio de este campo están George Perkins Marsh (U.S.A.) y Johann Heinrich von Thünen (Alemania). Estos científicos abordaron el tema desde diferentes perspectivas, dimensiones y propósitos en diferentes partes del mundo. El primero, un erudito y diplomático, examinó la temática en su libro *Hombre y Naturaleza*, o, *La Tierra modificada por la acción humana* (Marsh, 1965, publicada originalmente en 1864). En esta obra se expone de manera precisa el alcance y la magnitud de los impactos provocados por las acciones humanas en el medio ambiente en varias partes del mundo. Aunque es un estudio de tipo descriptivo, se proporcionan explicaciones sobre el ambiente, mediante el registro de las transformaciones observadas. Se hace un análisis de la posición del hombre frente a la naturaleza. Von Thünen expone que toda actividad humana se realiza en un espacio y, al mismo tiempo, lo modifica. En conclusión, el hombre provoca cambios ambientales (Briassoulis, 2019).

El rasgo más importante de los estudios de cambio de uso del suelo y, de manera específica, de las relaciones entre el hombre y la naturaleza, es el establecimiento del análisis sistemático y científico del cambio de uso del suelo basado en teorías y modelos extraídos de diversos campos científicos y disciplinares; en específico de la economía, la sociología y la geografía. En épocas pretéritas la apa-

rición de modos dominantes de teorizar —aplicar teorías para explicar procesos y fenómenos— y modelar sobre el suelo y su uso también tuvo importancia en la economía urbana y regional, la sociología urbana, la geografía económica y social (Briassoulis, 2019).

El análisis sistemático y científico del cambio en el uso del suelo que había iniciado en la primera mitad del siglo XIX continuó en la segunda mitad del siglo XX en las mismas condiciones y disciplinas. Además, empezaron a abordarse en otros campos científicos, principalmente de las ciencias naturales y las ciencias aplicadas. Como referente se citan la silvicultura, agronomía, biología y ecología (Briassoulis, 2019).

Diversas disciplinas han contribuido a la generación de fundamentos teóricos y modelos; de hecho, en el campo de la economía se generó un número impresionante de estudios teóricos, empíricos y modelos, varios de estos asociados con la estructura espacial urbana y regional. Desde una perspectiva macroeconómica, las teorías y modelos de equilibrio regional y desequilibrio, entre otros, describían y explicaban los procesos de cambio regional —crecimiento o disminución—. El marco teórico y analítico explica el análisis del equilibrio y el bienestar neoclásico para producir soluciones óptimas de *Pareto*, relacionadas con problemas de maximización del bienestar social, donde el suelo es uno de los factores de producción junto con el trabajo y el capital (Cooke, 1983; Andersson & Kuenne, 1986; Clark & van Lierop, 1986; Miyao, 1986; Takayama & Labys, 1986; Fischer, Frohberg, Keyser & Parikh, 1996, citados en Briassoulis, 2019).

Los análisis del cambio de uso del suelo en el contexto de la economía comparten rasgos comunes, el más importante es el énfasis en el mecanismo de precios, como principal determinante de la ubicación de las actividades humanas en el espacio. Los enfoques que aplica son funcionalistas, cuantitativos y matemáticos, basados en suposiciones restrictivas con respecto a la naturaleza del suelo. También aborda cambio en el uso del suelo, las características y preferencias de los usuarios del espacio. En este tipo de estudios se describían los patrones de uso del suelo y sus cambios, así como el uso óptimo del suelo (Briassoulis, 2019).

Los campos orientados a la sociología continuaron la tradición de la ecología humana, desarrollada en la primera mitad del siglo XX, produciendo estudios cuantitativos y empíricos de la estructura espacial y social urbana, especialmente, en las décadas de 1960 y 1970. Los análisis iniciaron con la teoría y la técnica del análisis del área social y continuaron con técnicas inductivas sofisticadas de la ecología factorial (Johnston, Gregory & Smith, 1994, citados en Briassoulis, 2019).

Los estudios del uso del suelo, sus modificaciones y alteraciones se centraron en variables como el estatus socioeconómico, familiar y étnico, para proporcionar explicaciones de las diferencias observadas en la ubicación y distribución de las actividades particulares; por ejemplo, áreas residenciales ocupadas por grupos de

diversas condiciones socioeconómicas. La mayoría de los análisis sociológicos ven la estructura espacial urbana como una expresión de estructura social subyacente y sus procesos asociados (Suttles, 1975; Korcelli, 1982, citados en Briassoulis, 2019).

El enfoque estructuralista ponía especial énfasis en las restricciones impuestas al comportamiento humano por parte de instituciones sociales. Esto, con el propósito de explicar patrones espaciales en las áreas urbanas. El concepto central en este enfoque es “poder”, especialmente en lo que se refiere al económico. Otro concepto muy correlacionado es “conflicto”, generalmente originado por desigualdades o conflictos de clase (Johnston, 1982, citado en Briassoulis, 2019).

Por otra parte, aunque el método ecológico de Ian McHarg (1969) no está directamente relacionado con los procesos de cambio de uso del suelo y la planificación del paisaje, es importante señalar algunos de sus fundamentos: tiene influencia de la corriente de pensamiento sobre la relación hombre – ambiente, y ha marcado la forma de pensar en la relación entre las actividades humanas y la naturaleza. Al principio, el método ecológico era un llamado a considerar los procesos de la vida como restricciones y oportunidades para la planificación del uso del suelo (Briassoulis, 2019).

Los enfoques teóricos sustentados en los ecosistemas y los modelos integrados de la relación medio ambiente – economía – sociedad se han generalizado y aplicado en la última mitad del siglo xx, principalmente después de 1970. En esa época inicia una marcada apreciación y preocupación por la investigación del medio ambiente, en particular en los círculos políticos y académicos, dando apertura a un infinito número de indagaciones con énfasis en la relación sociedad y naturaleza, impacto ambiental, transformaciones y cambio ambiental global. Esto, en virtud de que los cambios ya provocaban graves consecuencias ecológicas y económicas en los sectores agrícola, forestal, y urbano.

Con base en la situación ambiental existente en la mayoría de los países del mundo, futuras investigaciones sobre cambio de cobertura y uso del suelo se empezarán a realizar con enfoques integrados e interdisciplinarios y su vinculación con la gestión.

Es pertinente considerar que las teorías de cambio de uso del suelo son importantes para describir la estructura de los mismos de un tipo a otro (algunos autores denominan a los tipos como categorías o clases). Asimismo, son útiles para explicar por qué ocurren, quién los provoca cuáles son los mecanismos que consecuencias o impactos generarán (Briassoulis, 2019). Las teorías de cambio de uso del suelo deben sustentarse en marcos teóricos generales de ciencias y disciplinas que en su objeto de estudio incluyen las dimensiones económicas, ambientales o espaciales. Las teorías representan guías para las políticas de cambio de uso del suelo, por lo que, su aplicación es primordial (Briassoulis, 2019).

En el contexto académico y científico es indispensable tener presente que entre las teorías y los modelos disponibles para analizar, interpretar y explicar los procesos de cambio de uso del suelo existen vínculos directos e indirectos. Tanto en la construcción de teorías como en el diseño de modelos existen posiciones epistemológicas que sustentan su formulación y aplicación. Los modelos se aplican en la tradición positivista, mientras que las teorías consideran un espectro más amplio de epistemologías (Briassoulis, 2019). Los problemas relacionados con el cambio de uso del suelo son, en esencia, metaproblemas.

Capítulo II

Fundamentos teóricos de cambio de uso del suelo

La geografía y el estudio del espacio

En este capítulo se presentan algunos fundamentos y enfoques teóricos útiles para explicar los procesos de cambio de uso del suelo. Cabe mencionar que no son los mejores, ni los únicos, pero sí pueden coadyuvar a los especialistas a sustentar los resultados de sus investigaciones y, desde luego, a asociarlos con otras investigaciones realizadas en distintas escalas espaciales y temporales. Es importante reconocer que en el contexto de la ciencia geográfica (ciencia espacial) existe amplia tradición en el uso y aplicación de teorías para explicar el comportamiento de los hechos, acontecimientos, fenómenos, y distribución de los procesos que ocurren en la superficie terrestre, por lo que la mayor parte de los fundamentos teóricos expuestos en este capítulo están enfocados en varias disciplinas.

Con base en los principios de la ciencia geográfica: localización, extensión o distribución, descripción, conexión o relación, causalidad u origen, comparación o analogía y actividad o evolución; es pertinente señalar que los proyectos de investigación relacionados con el objeto de estudio y unidades de análisis de la geografía deben cumplir con estos principios, condición que garantiza su cientificidad y aplicación.

La geografía, en su carácter de ciencia general, analiza los aspectos naturales, que pueden ser útiles para el hombre, y desentraña leyes que permiten lograr una mejor utilización y manejo de las riquezas, basadas en el conocimiento científico y en el adelanto social. La geografía es una ciencia que debate problemas comunes a las grandes masas de la población mundial, fenómenos que interesan a todos los habitantes de la Tierra y, por supuesto, de México. Esto demuestra la evidente utilidad de la geografía y se convierte en la mejor razón para justificar su estudio (Bassols, 1980).

Los estudios de cambio de uso del suelo son generados por la interacción de múltiples factores y diversas actividades humanas; además, ocurren en distintos niveles, lo que hace necesario contextualizarlos y explicarlos a través de elementos teóricos en interacción con métodos, técnicas, herramientas, modelos, equipos de medición de precisión, trabajo de campo y aplicación de sistemas de información

geográfica. La generación de cambios de uso del suelo ocurre a través de diversos procesos, en determinado tiempo y espacio, por lo que la aplicación de los principios de la geografía es esencial. Enseguida se exponen algunos fundamentos que pueden ser útiles para sustentar proyectos de investigación relacionados con los procesos de cambio de uso del suelo, cierto es que existe infinidad, pero en general sólo se hace referencia a los aplicados por el autor de este libro.

La geografía, conceptualizada como ciencia de síntesis y de localización, permite explicar las conexiones e interacciones entre elementos físicos, biológicos y culturales. Esto, a partir de distintos enfoques y dimensiones, las cuales están en función de los fenómenos que se pretenden estudiar. Las relaciones ambiente-sociedad y ambiente-sociedad-cultura, pueden ser explicadas con los principios de la geografía y, consecuentemente, con fundamentos de otras disciplinas afines como la antropología social y la sociología, desde luego, en asociación con la aplicación de variados métodos, técnicas, modelos y herramientas.

Desde el siglo xx, existen diferentes enfoques y concepciones del espacio geográfico. Al inicio, los geógrafos tuvieron una marcada inclinación y preferencia por estudiar la naturaleza o factores físicos, y trataban de explicar que el paisaje o conjunto observado es producto de una interacción de elementos físicos como el relieve, la geomorfología, el clima, el suelo y la vegetación. Posteriormente, los geógrafos consideraron fundamental el estudio del individuo y la sociedad que transforma, vive y construye el espacio. Es, por tanto, de nuestro interés estudiar estos cambios desde el concepto de espacio físico hasta el territorio como espacio vivido y construido (Vargas, 2012).

Desde la antigüedad, la ciencia geográfica ha sido importante en la descripción de las interacciones físicas y las relaciones entre los componentes del entorno y la sociedad, por lo que diversos teóricos —clásicos y contemporáneos— han aportado fundamentos, principios, métodos, modelos y conceptos para enriquecer el quehacer de los geógrafos y la aplicación de su campo de estudio. Con los principios de esta ciencia es posible explicar múltiples fenómenos, hechos y procesos que ocurren en la superficie terrestre, haciendo uso de conceptos propios y de otras ciencias y disciplinas, por ejemplo: región, espacio, espacio geográfico, sistema, geosistema, territorio, hábitat, paisaje, entre otros.

Con base en los conceptos de la disciplina geográfica y los de otras disciplinas afines, Sorre (citado por Vargas, 2012) dice que el hábitat es el área habitada por una comunidad, la cual ha sido organizada; se trata de una forma humanizada del espacio que expresa sus múltiples relaciones entre el ser humano y el ambiente que lo envuelve. Como lo refiere Vargas (2012), el estudio de la relación entre la sociedad y la naturaleza es importante porque crea conciencia en las personas como agentes geográficos que transforman y modifican la naturaleza.

En recientes décadas son muchos los especialistas y científicos que estudian las relaciones entre los componentes de la naturaleza —ambiente— y los componentes sociales —grupos de personas que interactúan entre ellas y con su entorno inmediato—. Al respecto, Tuan (1977), estudia las relaciones de las personas con la naturaleza, su conducta geográfica, sus sentimientos e ideas respecto al espacio y lugar —estos pueden estar vinculados con el conocimiento, valoración y manejo de los recursos naturales—.

La ecología, al retomar el concepto de paisaje en su objeto de estudio y unidad de análisis, considera al ser humano y la sociedad como integrantes esenciales del paisaje, los cuales tienen la capacidad de destruir, transformar, modificar y construir nuevos paisajes (Troll 1950, citado en Vargas, 2012), siendo éstos, los principales aportes al estudio en la disciplina geográfica.

El espacio es un conjunto concreto, objetivo de localizaciones materiales de naturaleza muy variada que involucra prácticas humanas como el uso de la tierra, actividades urbanas, topográficas, biogeográficas, de servicios, de hábitats y otros tipos de relaciones muy diversas. Estas actividades se localizan y se estructuran en organizaciones espaciales, de extensión variada, que comprenden desde el nivel local al mundial, los cuales están conectados por flujos de energía y materiales (Vargas, 2012).

El espacio geográfico es visto y estudiado a partir de dos elementos importantes: los elementos físicos del medio, y la sociedad. Éstos han sido incluidos en los estudios geográficos como una dicotomía. Las relaciones que establecen las sociedades con los espacios y las dimensiones geográficas de los hechos sociales de los que son, a la vez, producto constituyen los contextos donde se establece un conjunto de relaciones y funciones. Reconocerse como grupo en un determinado lugar es comenzar a definir una identidad entre la sociedad y el espacio (Vargas, 2012).

Los nuevos métodos como los sistemas de información geográfica (SIG), aplicados al geosistema, permiten modelizar los procesos ambientales y la dinámica de los paisajes, y establecer una jerarquía de factores y parámetros. Asimismo, con la aplicación continua de la teledetección y cartografía digital se adquiere una sobrevaloración y aplicación en el análisis del paisaje, y se olvida que sólo son instrumentos complementarios y auxiliares en el análisis del espacio geográfico (Vargas, 2012).

El espacio geográfico es trascendental para el estudio de las relaciones entre las actividades económicas, modos de subsistencia humana, y condiciones ambientales. Además, es la unidad de análisis para el estudio de las interacciones entre territorio, condiciones naturales y socioculturales. La contribución de la Geografía al tema ambiental se ha dado desde su conformación como ciencia, y lo ha hecho desde la perspectiva territorial espacial o, dicho de otro modo, ha aportado fundamentos a la comprensión de la dimensión espacial, como es el caso de la noción

de medio ambiente —el cual incluye todos los factores fisiográficos—. En otras palabras, si bien muchas disciplinas, en especial en las últimas décadas, han “descubierto” y aportado a lo ambiental, la Geografía lo ha hecho tradicionalmente con una especificidad y científicidad que la diferencia de otras ciencias (Bocco, Urquijo & Vieyra, 2011).

En cualquier aproximación a la Geografía, la relación entre espacio y ambiente parece ser insoluble. La Geografía Ambiental es considerada un campo emergente del conocimiento, en el cual la geografía a través de sus principios y fundamentos teóricos aporta la comprensión de las relaciones espaciales para describir, explicar y entender el impacto de las actividades humanas sobre los componentes del ambiente (Bocco, Mendoza & Masera, 2000; Bocco & Urquijo, 2010, 2013; Bocco *et al.*, 2011).

El objeto de estudio de la geografía ambiental está enfocado en el análisis de hechos y fenómenos que ocurren en la biósfera; o sea, analiza las condiciones en las que se encuentran los componentes del ambiente: aire, suelo, agua y biota (Bocco *et al.*, 2000; Bocco & Urquijo, 2010, 2013; Bocco *et al.*, 2011). El análisis de los factores —impulsores— que están ocasionando los procesos de cambio de uso del suelo y en consecuencia los impactos que generan, tienen sustento en la disciplina geográfica, ya que se analiza la interacción entre los elementos de un lugar, la sociedad y sus actividades.

Los estudios de la geografía ambiental desembocan en la necesidad de una ordenación del territorio y la preocupación por regular los conflictos resultantes de las desordenadas acciones de la sociedad sobre su hábitat. En este sentido, la geografía ambiental es cualquier forma de investigación que formalmente toma en cuenta algún elemento de la sociedad y de la naturaleza, y que analiza sus interrelaciones (Castree *et al.*, 2009, citado en Bocco *et al.*, 2011). Con base en esta idea, una aplicación del análisis entre la sociedad y el ambiente es, precisamente, explicar las interacciones que ocasionan el cambio de cobertura y los procesos de cambio de uso del suelo y sus impactos, en un contexto local, las modificaciones y transformaciones del paisaje. La sociedad transforma, vive y modifica el espacio (Sauer, 1940, citado en Vargas, 2012). El espacio es transformado y modificado para distintos fines y propósitos; por ejemplo, acondicionamiento de un terreno para el establecimiento de viviendas y apertura de espacios en un bosque para establecer cultivos destinados a la subsistencia familiar.

La geografía ambiental es una disciplina relacional cuyo objeto de estudio es el análisis de las interacciones entre individuos o sociedades humanas y los componentes de su entorno. Esto, desde una dimensión espacio-temporal. Además, estudia las relaciones e interacciones entre el espacio y el ambiente, y su asociación con las sociedades. Analiza las transformaciones de unidades espaciales determinadas,

considerando los cambios, alteraciones ambientales y procesos socioambientales (Bocco *et al.*, 2000; Bocco & Urquijo, 2010, 2013; Bocco *et al.*, 2011).

La geografía ambiental es importante para estudiar el espacio geográfico de las regiones mexicanas, sus componentes e interacciones. Bocco *et al.* (2000; Bocco & Urquijo, 2010, 2013; Bocco *et al.*, 2011) refieren que la geografía ambiental es una ciencia auxiliar de la geografía, cuyo objeto de estudio está enfocado en el análisis de las manifestaciones, fenómenos y hechos que ocurren en la biosfera —considerando y aplicando los principios geográficos—. Asimismo, analiza las condiciones en las que se encuentran los elementos de su medio y los factores que provocan afectaciones. El soporte teórico inicial de la geografía ambiental hace referencia a las relaciones entre el hombre y el ambiente, a su aproximación por parte de las principales escuelas geográficas, a la delimitación del conjunto de imbricaciones que ocurren entre el espacio natural y el espacio social (Bocco *et al.*, 2000; Bocco & Urquijo, 2010, 2013; Bocco *et al.*, 2011). Los mismos autores, hacen énfasis en que los procesos socioculturales y naturales ocurren en determinado tiempo y lugar.

El concepto de ambiente hace referencia a la naturaleza transformada por la actividad humana. El ambiente es en principio social y ello lo distingue de otros, tales como el ecosistema, bioma o geosistema, los cuales hacen una valoración del estado de la naturaleza a razón de un cambio por intervención, degradación, contaminación o regeneración; a partir de posturas analíticas fundamentalmente biofísicas (Bocco y Urquijo, 2013).

La interrelación establecida entre la sociedad y el ambiente, mediante la cual ambos se influyen, constituye una de las premisas de la geografía ambiental (Reboratti, 2011); además, es pertinente tener presente que, desde el año 1992, la interacción entre el hombre y el medio ambiente es reconocida como paisaje natural (<http://sic.gob.mx/atlas2010/fo/ATLAS-1a-parte.pdf>).

Con sustento en los fundamentos de la geografía ambiental, esta disciplina proporciona elementos clave para identificar, analizar y explicar los procesos de cambio de uso del suelo, la transformación del paisaje, modificaciones y alteraciones a los componentes del ambiente y, desde luego, favorece la identificación, análisis y evaluación de los impactos que se ocasionan al entorno, a la sociedad, y a los componentes socioculturales; ya que mediante la relación dicotómica ambiente–sociedad, esto permite realizar estudios e investigaciones vinculadas con la cuestión ambiental.

La geografía rural y el cambio de uso del suelo

La geografía rural contiene elementos teóricos que permiten contextualizar, estudiar, e investigar en el tiempo y el espacio los avances relacionados con investigaciones que tienen como objeto de estudio y análisis los ambientes rurales (Clout,

1976, citado en García, 2015). La geografía rural ha tenido diferentes enfoques y unidades de análisis, pero en las últimas décadas analiza las transformaciones territoriales que acontecen en el medio rural, producto de los cambios en el paradigma productivo fordista y posfordista; asimismo, las modalidades derivadas de la globalización. Destaca la identificación del territorio como categoría conceptual para estudiar sus procesos y formas de aprehensión (Ávila, 2015).

La geografía rural estudia los espacios humanizados y analiza las distintas formas en que se han plasmado sobre el espacio geográfico las configuraciones, le ha dado un carácter espacial a las transformaciones territoriales, económicas y sociales que ocurren en el campo. También analiza las interrelaciones de los procesos rurales y las tendencias que expresan la evolución de las economías, a escala global, regional y local, en las distintas naciones (Ávila, 2010). Las investigaciones actuales en torno a la geografía rural estudian los procesos del campo, desde una perspectiva interdisciplinaria, esto desde ámbitos teóricos que convergen en el territorio, como expresión de la apropiación y uso de los espacios, así como la formación de redes de actores, por parte de las comunidades sociales (García, Tulla i Pujol & Valdovinos, 1995).

El espacio geográfico rural es importante, ya que en éste se producen los alimentos para las familias que viven en el campo y la ciudad (Clout, 1976, citado en García, 2015). Los estudios sobre el campo —esto es, del espacio que tradicionalmente se localiza a partir de los confines de las ciudades— han sido siempre un importante objeto de conocimiento en los estudios geográficos, por ser el ámbito tradicional para el desarrollo de las actividades como la producción de alimentos, cría de ganado, pesca o la explotación de los bosques (Ávila, 2015).

Menor (2000) expone que, al final de los ochenta y durante los noventa, las áreas rurales han modificado su rol tradicional de productores de alimentos y de explotación de la tierra ante la presencia creciente de funciones no agrícolas, como las residenciales, industriales, comerciales o de transportes, que desplazaban paulatinamente a las actividades agrícolas, cambiando la fisonomía de los espacios agrarios tradicionales.

En los espacios rurales ocurre una gama de cambios y procesos asociados con los grupos humanos, sus actividades y su vida cotidiana, siendo peculiares los cambios de uso del suelo. En el ambiente rural han ocurrido y siguen ocurriendo cambios, transformaciones, alteraciones y modificaciones significativas y, por consiguiente, impactos que provocan problemas ambientales y socioculturales en distintos niveles, como es el caso de los usos del suelo no acordes con su potencial y capacidad. Todos estos procesos ocurren en el paisaje. En este contexto, la geografía rural ha aportado conceptos y herramientas que amplían la percepción de las expresiones territoriales de los procesos económicos y sociales (Ávila, 2015).

En las décadas recientes es notorio que, en varios países, los entornos rurales están desapareciendo de modo rápido y brusco; o bien, se pueden observar intercalados entre espacios semi-urbanos o urbanos, esto como consecuencia de la interacción de diversos impulsores económicos, demográficos, socioculturales, políticos y, en ocasiones, físico-geográficos. No obstante, la disminución y el deterioro de los espacios rurales no sólo es una preocupación y problemática que deben atender las autoridades y los especialistas en análisis espacial y territorial, también está el problema de la expansión o incremento de las fronteras agrícolas en ambientes forestales o pastizales —procesos de transformación—.

Hoy, en el campo, hay cada vez más conjuntos habitacionales, de menor y mayor tamaño. En gran parte de las ciudades del mundo son confusos los límites entre la ciudad y el campo. En el medio rural el tipo y las condiciones de la producción agrícola y ganadera han cambiado de manera rápida. Inclusive, la composición social de las familias rurales se ha transformado, producto de las migraciones hacia las ciudades y de la proliferación de nuevas actividades no agrícolas (Ávila, 2015).

Clout (1976), dice que desde principios del siglo xx, el paisaje de muchas áreas rurales del mundo desarrollado ha cambiado de forma radical debido, por un lado, a los cambios en la estructura de la tenencia de la tierra, en virtud del número creciente de áreas extensas absorbidas para usos residenciales y otras instalaciones que acompañan a la civilización urbana contemporánea —asentamientos humanos regulares e irregulares con diferentes densidades de población, enormes establecimientos comerciales y de servicios e infraestructura urbana y vías de comunicación—, y por el otro, a la aparición —regeneración— de bosques.

La regeneración de bosques está ocurriendo de forma particular en las tierras altas y en otras áreas donde las condiciones ambientales no son las más aptas para la producción agrícola, y, por consiguiente, la producción es pobre. En regiones poco pobladas, semejantes al centro de Francia, las tierras agrícolas han sido abandonadas al cultivo y amplias extensiones de pastos comunales han dejado de usarse para la ganadería (Clout, 1976). Estos procesos han propiciado condiciones favorables para que en estas regiones haya tenido lugar la repoblación —reconversión— forestal en diversos grados; acciones que incluyen desde el restablecimiento natural e inducido de cientos de hectáreas arboladas en terrenos propiedad de los pueblos, hasta plantaciones en superficies pequeñas de propiedades privadas o comunales (Clout 1976, citado en García, 2015).

En México y otros países de América Latina, el proceso analizado en el párrafo anterior no es común, pues casi siempre ocurre lo contrario; sin embargo, en el Ejido Agua Bendita —estudio de caso que será analizado en capítulos posteriores—, mediante acciones de organización social para el trabajo, participación, coordinación

institucional, concertación social, colaboración, cooperación y gestión, está ocurriendo algo semejante a lo de algunos países europeos: procesos socioambientales de cambio de uso de suelo, de espacios agrícolas abandonados, erosionados o con poca productividad agrícola a espacios ocupados con especies vegetales forestales —desde luego, también a escala local—. Es importante referir que este proceso de reconversión forestal está ocurriendo cien años después de lo ocurrido en los países europeos —en especial en Francia—. Además, se debe tener presente que las condiciones fisiográficas y socioculturales entre México y Francia son diferentes.

En países desarrollados, como Inglaterra, en el siglo xx se presentó una tendencia a disminuir la extensión de la superficie ocupada por la agricultura y los pastizales marginales en las tierras altas originada, en parte, por el incremento en la demanda de maderas blandas para producción de papel y pasta de papel, materia prima que generalmente obtenían a partir de importaciones muy caras. Esta situación marcaría una tendencia, de forma conjunta con las propuestas de los planificadores del territorio, a ver que los paisajes rurales de las regiones de baja producción agrícola estarían en el futuro más cubiertos de árboles (Clout, 1976, citado en García, 2015).

Con base en la reflexión anterior, y mermadas las reservas forestales por causa de la Segunda Guerra Mundial, en la década de los cuarenta, el gobierno inglés sugirió que para el año dos mil hubiera en Gran Bretaña dos millones de hectáreas repobladas de árboles, ordenadas y desarrolladas de forma sistemática; esto con la finalidad de conformar una reserva contra futura escasez de suministro de madera en el mundo, y evitar lo sucedido durante la Segunda Guerra Mundial.

En países con economías emergentes, como México, procesos similares al anterior —reconversión forestal— han sido más tardíos, pues en la actualidad, la tendencia de inducir el establecimiento de plantaciones forestales no se ha generalizado, ni aceptado de modo absoluto, en parte por cuestiones culturales. No obstante, existen propietarios de terrenos en las comunidades del Ejido Agua Bendita que han empezado a implementar acciones de repoblación forestal en áreas agrícolas de baja productividad, lo cual puede fomentar, a mediano y largo plazo, un desarrollo local sustentable. Por supuesto, este proceso de reconversión forestal no es fácil, toda vez que existen intereses económicos, políticos y socio-culturales, que pueden limitar la continuidad de la organización social y la participación de los ejidatarios.

De acuerdo con las condiciones culturales y socioeconómicas de un considerable sector de la población en México, como son las familias campesinas y los grupos originarios —indígenas—, que se encuentran en condiciones de vulnerabilidad, existe una urgencia inmediata; es decir, a corto plazo, de generar ingresos económicos y productos básicos para satisfacer las necesidades alimenticias y de vivienda, los cuales son obtenidos principalmente de la agri-

cultura de subsistencia —cultivos temporales anuales— y de la cría de animales domésticos, previa deforestación de áreas arboladas (CESPEDES-CEMDA, 2002, citado en García, 2015). Esto contrasta con el pensamiento y la visión de personajes de otras culturas, como el Conde Bradford, de Inglaterra, quien hacía referencia a ideologías como la siguiente: “muchos de nosotros actuamos con la ilusión puesta en nuestros nietos”. Donaldson (1969, citado por Clout, 1976), señala que en esas regiones se establecían, además, metas de producción a largo plazo de materias primas, derivadas de los bosques, quizá favorecidas por el hecho de que sus dependientes económicos tenían cubiertas las necesidades básicas de alimentación, vestido y refugio.

La mayor parte de los procesos de cambio de uso del suelo han ocurrido y están ocurriendo en espacios rurales —zonas agrícolas o con cubierta forestal, así como, terrenos abandonados o en reposo—, situación que pone en riesgo la producción de alimentos para las familias, tanto rurales como urbanas; además impacta negativamente, y de manera directa, a la generación de servicios ambientales y ecosistémicos —recarga de acuíferos, regulación del clima, control de procesos erosivos, polinización, captura de carbono, formación del suelo, fotosíntesis—, básicos para mantener la continuidad de los procesos ecológicos y el bienestar social de los asentamientos humanos que habitan en su entorno.

A modo de reflexión final, es pertinente enfatizar que la geografía rural aporta elementos para el estudio de cobertura y los procesos de cambio de uso del suelo, toda vez que analiza las modificaciones y transformaciones de la agricultura, los cambios en los sistemas de producción, la organización y gestión de los territorios, así como la relación campo-ciudad, pues no es posible estudiar los procesos que ocurren en el campo sin conocer o saber qué es lo que ocurre en el medio urbano.

La geografía económica y los cambios de uso del suelo

La geografía económica es una rama de la geografía que estudia los aspectos económicos en asociación con los factores del medio natural y social, las causas de su integración, su distribución espacial y desarrollo en el tiempo, haciendo énfasis en la diversidad de los fenómenos productivos regionales (Bassols, 1980). Además, analiza la organización de las actividades humanas y los aspectos económicos, así como los componentes del ambiente y la sociedad. Mediante algunas teorías y modelos explica el funcionamiento del sistema económico local, regional o mundial.

Los principales propósitos de la geografía económica son los siguientes: saber de qué manera influye la naturaleza sobre la sociedad, explicar cómo el hombre cambia el medio natural transformando los componentes del ambiente en que vive, conocer la distribución de los aspectos económicos de la tierra, las causas de distribución y los sistemas regionales, y analizar los diversos fenómenos naturales

y sociales para que, al entenderlos, el hombre pueda transformar mejor la naturaleza (Bassols, 1980).

Bassols (1980) afirma que el hombre mismo es el motor de las transformaciones reales de la naturaleza. Dice que hay regiones naturales, y que es muy raro encontrar una región que se encuentre totalmente en esa condición, porque casi no hay lugar en el planeta que escape al conocimiento e influencia del hombre y que, por ello, no se transforme. La geografía económica estudia las relaciones del mercado, en función de los principios geográficos (localización, distribución, etcétera.), analiza las relaciones entre la sociedad, la distribución espacial de los recursos naturales, las actividades económicas, la producción y el consumo.

Si bien la repoblación forestal ha tenido lugar a través de la historia en diversas regiones del mundo, otros procesos, como la conversión de tierras arboladas a parcelas de cultivo y tierras de pastizales para el pastoreo de ganado, también son notorios y han ocurrido de forma continua, dando lugar al concepto de espacio agrícola. De acuerdo con George (1974, citado en García, 2015), el espacio agrícola es un hecho de geografía humana, pues es resultante de una acción del grupo humano, voluntaria o diferencial, con respecto al espacio bruto, que puede ser un espacio ya ocupado por una vegetación natural, lo cual constituye la referencia más general. Tiene lugar entonces la sustitución de un medio biológico con nulo o escaso valor de uso para el hombre, desde su perspectiva, por un medio biológico útil a él. Esto, en otras palabras, se trata de una mutación de procesos vitales. George (1974, citado en García, 2015) establece que ocurre una conquista del espacio agrícola cuando ha transcurrido, en su calidad de fruto de una acción colectiva, la eficacia acumulada por un número variable de generaciones sucesivas.

George (1974) emplea el término *yermo* como sinónimo de tierra no cultivada ni dedicada sistemáticamente al pastoreo, y el término *roturación* como indicativo de toda conquista agrícola sobre un suelo ocupado por una vegetación espontánea.

En el espacio agrícola, y de modo más específico en las actividades agrícolas, las técnicas de roturación del suelo son diversas, y, en su forma más general, esta actividad u ocupación implica liberar el suelo de la vegetación natural que lo ocupa con la finalidad de que pueda ser enteramente consagrado al establecimiento de cultivos —es decir, laboreo y luego sembrado o plantado— y que es más o menos difícil según la intensidad del tapiz vegetal natural y la solidez de su raigambre (George, 1974).

Todas las colectividades rurales parecen haber empleado inicialmente —aún existen sociedades campesinas o de labradores— el fuego para destruir la vegetación espontánea o la vegetación natural desarrollada después del abandono o reposo de tierras anteriormente cultivadas (George, 1974, citado en García, 2015), modalidad de agricultura itinerante muy peculiar en el subtrópico mexicano.

Desde una perspectiva menos radical, la liberación —eliminación de la cobertura vegetal de la superficie del terreno, para dedicarlo usualmente a la agricultura o alguna otra actividad distinta a la forestal— del suelo por el fuego es por demás imperfecta y, desde luego, agresiva con el entorno. Ofrece la ventaja de restituir en forma de cenizas una parte de las sustancias minerales asimilables contenidas en la vegetación, pero no destruye de forma definitiva la raigambre de los bosques, de la sabana arbórea o del monte bajo. El incendio de un bosque tropical, tal como se practica en África y América, deja calcinados los troncos o tallos, pero los tocones de los árboles no sufren una combustión completa, de suerte que sus rebrotes aparecen pronto en los cultivos —al ser eliminada sólo la parte aérea de la vegetación no deseada, los rebrotes de esta aparecen transcurriendo el tiempo, invadiendo así los cultivos establecidos en el terreno desmontado—. En África del Norte resulta tan difícil arrancar las palmeras enanas (dums), pues el fuego no destruye los tocones ni las raíces, de manera que los pequeños felagas —familias campesinas que viven en zonas adyacentes al río Nilo— dejan crecer en su campo a las más robustas, limitándose a eludir las al arar el suelo (George, 1974, citado en García, 2015).

El proceso de cambio de uso de suelo también obedece al interés de la cría de animales domésticos para la subsistencia familiar. Así, convertir la vegetación arbórea en pastos, con frecuencia a través de los incendios, resulta más fácil e implica menos modificaciones del paisaje natural. A menudo, los pastos se hallan generalmente en los linderos de los bosques, bien a continuación de sus límites superiores, bien aprovechando un retroceso en los linderos forestales o un ensanchamiento de los calveros¹. No hay en general un límite preciso; lo que a veces se considera como límite no es más que una línea o una zona de equilibrio entre el bosque y el espacio cubierto por pastizales en donde se practica el pastoreo. Esta situación muestra igualmente que los pastos en general son una fase intermedia entre bosques y tierras cultivadas (George, 1974).

Factores como el relieve, el gradiente altitudinal, la accesibilidad del terreno, la proximidad de las viviendas de los pobladores y la disponibilidad de infraestructura para el transporte, pueden influir directamente en qué tan compleja puede ser la conquista de los terrenos yermos. Al respecto, George (1974) señala que la creación del espacio agrícola a partir de superficies naturalmente impropias para la vegetación y la cría de animales requiere de la aplicación de técnicas complejas y de la inversión de fuerza de trabajo, tanto en el momento de pasar del estado

1 La tala excesiva, el pastoreo en el bosque y la retirada de la hojarasca provocan la formación de calveros, lo que produce la rotura del ciclo biogeoquímico, el suelo se acidifica y se apelmaza —lo que significa un descenso de la actividad biológica— y se instala una flora diferente que poco a poco sustituye al bosque (Llorente, 2002).

estéril del terreno al productivo, como durante el proceso de producción en sí. Dicho incremento se hace necesario para mantener y conservar la conquista lograda.

Considerando lo expuesto por George (1974), en términos económicos, el espacio añadido al espacio agrícola es un *espacio caro* que demanda esfuerzo de trabajo, y que podría quedar justificado, desde su punto de vista, por la eventual alta calidad de las tierras para fines agropecuarios que pudieran haberse conquistado. Sin embargo, debe pensarse que esto podría tener otro tipo de implicaciones; por ejemplo, un eventual deterioro y desequilibrio ecológico, pérdida de biodiversidad, destrucción del hábitat y disminución en la producción de servicios ambientales, lo que influiría en la calidad de vida de la población más allá de la escala local de análisis.

La geografía económica puede aportar fundamentos al estudio de los procesos de cambio de uso del suelo y la transformación del paisaje, esto mediante el análisis de la versatilidad de actividades en asociación con los elementos naturales de un lugar. Conocer qué tipo de actividades, dónde se realizan, qué impactos e implicaciones generan en el espacio geográfico, además de comprender cómo la sociedad extrae y utiliza los recursos naturales disponibles en el ambiente, son algunas de las tareas de esta ciencia.

Las aportaciones teóricas de la geografía económica al estudio del cambio de cobertura y los procesos de cambio de uso del suelo se asocian al considerar que el suelo es el sustrato principal en donde se desarrolla la vida vegetal, animal y la humana; además, en el suelo se realizan las actividades económicas (agrícolas, ganaderas, mineras, forestales, industriales, servicios) que proporcionan los elementos básicos para el desarrollo humano. Esta disciplina, al analizar la localización y distribución de las actividades humanas, coadyuva a fundamentar las relaciones entre los grupos humanos y las actividades que estos desarrollan en el contexto del tiempo y el espacio. De hecho, en las primeras décadas del siglo xx, el análisis sistemático y científico de los procesos de cambio de uso del suelo se sustentaron en principios de la geografía social, geografía económica, sociología urbana y economía regional (Briassoulis, 2019).

El espacio agrícola representa uno de los componentes esenciales para la producción de alimentos destinados a la población humana y los animales domésticos, por lo que estudiar los procesos que ocurren en el espacio agrícola también es objeto de estudio de la geografía económica. De hecho, sus principios son útiles para explicar la relación entre los grupos humanos y las actividades económicas —en particular, la agricultura, la cual representa un factor que incide en los cambios del suelo y transformaciones del paisaje—.

Aportaciones de la geografía cultural al estudio de los cambios

En 1925 Sauer propuso que la geografía debía describir el paisaje formado por los elementos tanto de origen natural como cultural y decía que el interés de

la geografía estaba en estudiar áreas o espacios bien definidos llamados paisajes, donde se analizan los fenómenos que lo definen (Vargas, 2012). Sauer expuso que los fenómenos que componen y ocurren en el espacio no sólo se clasifican, sino que están asociados y son interdependientes; además, afirma que descubrir las conexiones de los fenómenos y su orden en el espacio es una tarea científica del geógrafo (Sauer, 1925). De acuerdo con Sauer (1925, 1940), la geografía cultural estudia las obras humanas que se inscriben y tienen lugar en la superficie terrestre, además, señala que estas le imprimen una expresión característica.

Sauer (1940) afirmaba que era indispensable estudiar la especificidad de las diferentes áreas culturales, describiendo en la medida de lo posible los rasgos visibles y evolución en el tiempo. Para este científico, la cultura era una realidad superior que se imponía al individuo, quien poco podía hacer para modificar el paisaje. La geografía cultural tiene como objeto de estudio la diferenciación en áreas de las actividades humanas que no dependen de estímulos físicos, sino de hábitos adquiridos que constituyen la cultura. En cualquier momento determinado el grupo ejerce opciones de conducta que proceden de actitudes, comportamientos y debilidades que ha aprendido, lo que conduce al concepto de área cultural.

El área cultural, en su dimensión de comunidad con una forma de vida, es un crecimiento que ocurre en un espacio u hogar particular, una expresión histórico-geográfica, donde su modo de vida y economía es su manera de maximizar lo que busca y de disminuir los esfuerzos que invierte en ello. Esto es, por lo tanto, lo que significa la adaptación ambiental (Vargas, 2012).

Las modificaciones y transformaciones del paisaje se pueden sustentar en la importancia de que la sociedad, a través de su acervo cultural (que se transmite de generación en generación), tiene la capacidad de manejar los componentes del ambiente y obtener de ellos algunos recursos para satisfacer sus necesidades.

El espacio de estudio de los geógrafos no es sólo una extensión natural donde la naturaleza se constituye en la base fundamental de los estudios geográficos, sino que también adquiere un enfoque funcionalista basado en tres tipos de redes: a) las redes sociales, b) las redes de convivencia y c) las redes de establecimiento humano. Finalmente, comprende el enfoque cultural donde la sociedad ocupa, transforma, construye y ordena el espacio (Vargas, 2012).

La geografía cultural contiene principios que ayudan a explicar los cambios de cobertura y los cambios de uso del suelo, ya que dispone de métodos y técnicas que permiten recopilar datos y hacer registros directos en el campo, y, por consiguiente, puede asociar los cambios con las condiciones culturales de las personas. La sociedad con su cultura puede manejar el ambiente y transformarlo.

La ecología cultural: ambiente–sociedad–cultura

El hombre, a lo largo de los cuatro o cinco millones de años que posee su desarrollo histórico-evolutivo, ha colonizado prácticamente todos los ambientes terrestres del planeta (Sutton y Anderson, 2010). Esto, con la finalidad de obtener los medios y satisfactores necesarios para su existencia, como alimento, vivienda, combustible (leña), ropa, medicina (Chávez, 1998). Esta relación entre el hombre y su ambiente ha tenido un intrincado desarrollo tanto en el tiempo (Steward, 1972) como en el espacio, en donde ha sido capaz de adaptarse a la enorme diversidad geográfica y ambiental del planeta, generando cultura y coexistiendo con su medio (Sutton & Anderson, 2010). De este modo, el vínculo entre el hombre y su ambiente constituye un proceso dinámico, indivisible (Alvarado, 2003). Lo anterior se fundamenta en el hecho, como lo menciona Alvarado (2003) "ni naturaleza ni cultura son posibles de observar químicamente puras", debido a que cada una se define por la otra (Tomé, 2005).

En recientes décadas, diferentes estudios mencionan a la cultura como el principal mecanismo por el cual los seres humanos se adaptan a su ambiente (Sutton y Anderson, 2010); sin embargo, la forma en que la cultura se relaciona con el ambiente puede ser vista de diferente manera. Algunos científicos mencionan que la cultura se origina en un determinado lugar —es decir, que depende totalmente de los factores ambientales—, otros refieren que existe una dependencia recíproca entre cultura y entorno, que es la cultura la que da lugar a la explotación de la naturaleza, lo que contribuye a su vez a la formación de la cultura (Stora, 1994).

La cultura como comportamiento aprendido y compartido es el elemento fundamental que diferencia a los seres humanos de los animales y es transmitida mediante la observación, la práctica, la experiencia y el lenguaje. Asimismo, cada persona pertenece a una cultura, un grupo de personas que comparten el mismo patrón básico de comportamiento aprendido, los mismos valores, puntos de vista, el lenguaje y la identidad. La cultura es un instrumento de ajuste, un sistema de adaptación generado por sociedades bajo condiciones ambientales, espaciales, temporales e históricas particulares, y es a partir de este instrumento, que un grupo social se relaciona o adapta de forma directa e indirecta con su entorno natural inmediato, y, desde luego, con los componentes y manifestaciones de otras sociedades (Steward, 1955).

La adaptación como mecanismo de relacionarse con el ambiente, desde el punto de vista biológico, se puede definir como los rasgos de un organismo que lo hacen más apto para sobrevivir y reproducirse (Odum & Barrett, 2006). En la sociedad humana, la adaptación dista un poco del concepto biológico, definiéndose como la modificación que se presenta en el cuerpo, en las especies o en la cultura, en respuesta a cambios y condiciones en el medio (Sutton & Anderson, 2010). Para la mayoría de los organismos en el ambiente, la adaptación es puramente

biológica y, en última instancia, regulada por la selección natural. Sin embargo, para los seres humanos la adaptación también es cultural, es un mecanismo que puede actuar en un tiempo corto y es la manera en que las personas pueden adaptarse al ambiente, a través del comportamiento colectivo y/o la tecnología (Sutton & Anderson, 2010). Se realiza mediante ajustes que no son filogenéticos y, por lo tanto, varían de acuerdo con los sucesos que influyen en la vida de las diferentes comunidades (Steward, 1955).

La adaptación sociocultural es resultado de una serie de ajustes progresivos, que pueden o no ser evolutivos, pero que explican los mecanismos de naturaleza social y cultural que las civilizaciones crean o re-crean para usar, manejar, o explotar su ambiente, proporcionando los elementos básicos para identificar y manejar sus recursos. Las adaptaciones o modos culturales de conducta son aprendidos por las personas al relacionarse con su entorno inmediato (Stora, 1994). Por consiguiente, al adaptarse la cultura a su ambiente, las culturas tradicionales de diferentes áreas pueden ser total o parcialmente distintas, y esto simplemente asume que ciertos tipos básicos de cultura pueden desarrollarse por similares caminos bajo similares condiciones (Steward, 1972).

El estudio de los grupos humanos, de los pueblos antiguos y modernos, de sus estilos de vida, lenguaje, historia, religión, estructura social, economía y evolución es importante para comprender las relaciones de la sociedad con su ambiente; o sea es importante estudiar al ser humano como sujeto culturalmente adaptado (Alvarado, 2003; Sutton & Anderson, 2010). En la Antropología se encuentra inmersa la antropología cultural, la cual se ocupa de la descripción y análisis de las diferentes culturas tanto del pasado como del presente. Dentro de estas disciplinas, en 1955, Julian H. Steward presentó un modelo metodológico para los estudios ecológicos, al que llamó ecología cultural, el cual está contenido en el libro titulado *Theory of Culture Change* (Stora, 1994).

La ecología cultural es el estudio de los procesos a través de los cuales una sociedad se adapta socioculturalmente a su ambiente; es decir, explica el proceso de retroalimentación entre cultura, tecnología y entorno, pero dentro del estrecho marco constituido por el núcleo cultural (Stora, 1994). Esta teoría pretende explicar, de forma amplia y consistente, el desarrollo general de la cultura o, más específicamente, el largo camino de las colectividades humanas, desde las formas organizativas más simples hasta las más complejas (Sánchez, 2002). Esto, a través del estudio de las relaciones que establece el hombre con su medio físico, por medio de niveles de integración que van de lo local —una comunidad— a lo regional, de lo nacional o lo internacional (Steward, 1955).

La ecología cultural es una serie de principios, metodologías y conceptos que se aplican en diferentes condiciones espaciales y temporales para el estudio del

hombre, la sociedad y su cultura. La teoría de la ecología cultural menciona cómo el hombre crea una relación con su ambiente, en donde sus patrones de comportamiento cultural permiten la adaptación de éste a las condiciones del ambiente; por tanto, la sociedad se adapta a su ambiente (Steward, 1972) y es condicionada por él (Milton, 1996). La ecología cultural surge como una herramienta metodológica, es una serie de principios y conceptos que se aplican en diferentes condiciones espaciales y temporales para el estudio del hombre, su sociedad y cultura; es decir, sirve para comprobar cómo la adaptación de una cultura a su ambiente puede implicar ciertos cambios (Steward, 1972).

La ecología cultural en el contexto de conceptualización teórica y herramienta metodológica involucra el estudio de los recursos naturales existentes y disponibles en una comunidad, pues son la base para el sustento de los grupos humanos. La subsistencia se refiere a los sistemas de producción que tienden principalmente al consumo de lo producido. La producción para la subsistencia caracteriza a algunas poblaciones, en las cuales las unidades de producción son pequeñas, donde se produce o recolecta una variedad de alimentos, y donde el principal mecanismo de intercambio es la reciprocidad (Morán, 2000). La ecología cultural, al ser una herramienta empírica y un contexto teórico (González, 1997), permite comprender cómo el ser humano posee capacidades para relacionarse con su ambiente a través de su acervo cultural, que se enriquece de una generación a otra y se transmite mediante la observación, la práctica y la experiencia.

Steward (1955), establece que la ecología cultural tiene por objeto el estudio de los procesos a través de los cuales una sociedad se adapta socioculturalmente a su ambiente. También señala que entre la sociedad y el ambiente existen relaciones como las siguientes: la relación entre el asentamiento y varios componentes de su ambiente inorgánico, la relación entre la comunidad con las plantas, los animales silvestres y domesticados, y las interrelaciones entre los seres humanos de la misma comunidad con otras comunidades vecinas.

La sociedad, con su cultura, modifica las condiciones del entorno para satisfacer sus necesidades básicas. Ejemplo de ello es que los espacios ocupados con bosques o pastizales son modificados para establecer cultivos agrícolas; es decir, la sociedad provoca el cambio de uso de suelo, para obtener otros beneficios —establecimiento de cultivos para producción de alimentos o apertura de espacios forestales para siembra de pastos destinados al pastoreo—. Bocco & Urquijo (2013) señalan que la interacción de las actividades humanas afecta al medio.

Las aplicaciones de la ecología cultural para explicar los procesos de cambio de uso del suelo se fundamentan en las relaciones existentes entre ambiente, sociedad y cultura. En estas relaciones, los asentamientos humanos establecen vínculos directos e indirectos con los componentes físicos (relieve, agua, clima, rocas, ener-

gía solar suelo), biológicos (plantas, animales silvestres y animales domésticos) y socioculturales (organización social, cohesión social, rituales, ceremonias, ayuda mutua, compadrazgo).

Las relaciones ambiente-sociedad-cultura se manifiestan a través de diversos mecanismos; por ejemplo, el conocimiento y manejo de la gravedad para conducción y distribución de agua para el riego de los cultivos, el uso de las rocas y el follaje para controlar el caudal del agua en los surcos, el conocimiento y manejo de las condiciones del relieve para el establecimiento de diversos sistemas agrícolas, el manejo de la energía solar para la deshidratación de semillas y la conservación de alimentos, el pastoreo de animales silvestres en lugares con vegetación natural y terrenos agrícolas en descanso, el manejo de plantas silvestres para el tratamiento de enfermedades, la organización social para el trabajo y la gestión para el manejo sustentable del agua.

La relación entre el entorno, la sociedad y la cultura incide en los procesos de cambio de uso del suelo, toda vez que los asentamientos humanos, a través de su cultura, conocen, manejan y extraen del ambiente los recursos naturales para su subsistencia. Todas las modalidades agrícolas provocan cambios de uso del suelo, y, consecuentemente, transforman el paisaje y provocan impactos ambientales (positivos y negativos). Palacios y Escobar (2016) enfatizan que la agricultura en general y la agricultura de riego en particular son actividades que han cambiado de modo significativo el paisaje de nuestro planeta y alterado los ecosistemas; además, provocan impactos sobre el ambiente.

La ecología forestal y sus aplicaciones

La ecología forestal es la ciencia que estudia las relaciones entre los seres vivos y el ambiente en las comunidades forestales. Su campo de acción es el análisis del ecosistema forestal (Spurr & Barnes, 1982, citados por González & Sotolongo, 2003). Esta ciencia analiza la interrelación de los procesos y las interacciones entre la flora y la fauna del ecosistema forestal. Los fundamentos ecológicos son una base importante de la silvicultura, por lo que los especialistas en ciencias forestales deben conocer la constitución ecológica de los árboles; pero no sólo de éstos, sino también de otras plantas del bosque, incluyendo las malezas. Esto con la finalidad de poder regular las condiciones y lograr el máximo de la producción (Samek, 1970, citados por González & Sotolongo, 2003).

La comunidad forestal está integrada por todo un conjunto de plantas y animales que coexisten con su medio. Cada uno de estos organismos se interrelacionan e interaccionan con los componentes ambientales, y en conjunto constituyen un sistema ecológico complejo. El ecosistema forestal es un complejo dinámico formado por árboles, arbustos, hierbas, bacterias, hongos, microorganismos del suelo, otros

animales de todos los tamaños, clases y descripciones, además del oxígeno, bióxido de carbono, agua, minerales y la materia orgánica muerta. Todos en su conjunto constituyen un bosque. Este complejo nunca alcanza un estado de equilibrio total o permanente, pues existen factores internos y externos que condicionan el equilibrio. El ecosistema está cambiando constantemente en el tiempo y en el espacio (Spurr & Barnes, 1982, citados en González & Sotolongo, 2003).

Los árboles del bosque coexisten con otras plantas y animales en agrupamientos naturales que se suceden regularmente de un sitio a otro, a lo largo de un período de años donde aparecen condiciones similares. Según (Spurr & Barnes, 1982, citados en González & Sotolongo, 2003) una comunidad forestal es aquella dominada por los árboles, un grupo o conjunto de árboles individuales de una o más especies que crece en un área específica, en asociación y en interacción mutua y con un sistema complejo constituido por plantas y animales. Estos autores consideran que la naturaleza de una comunidad forestal está gobernada por la interacción de tres factores: 1) la localización o hábitat, 2) las plantas y animales que se encuentran para colonizar y ocupar ese sitio, y 3) los cambios en el sitio y la biota durante un período que está influido por el cambio estacional, las variaciones del clima, los suelos, la vegetación y los animales.

En la naturaleza ocurren muchos procesos y cambios importantes para los mismos componentes. Los cambios en el ecosistema forestal en el tiempo forman muchos patrones, siendo referentes significativos los cambios diurnos, producidos por las variaciones diarias de los factores ecológicos y cambios estacionales que ocurren durante todo el año (González & Sotolongo, 2003).

Las plantas y los animales que constituyen la biota del ecosistema nunca permanecen iguales, por más que se estudie en un período corto de tiempo. El ecosistema forestal específico existe sólo durante un instante y en un determinado lugar. Si se tienen en cuenta las apariencias, el ecosistema nunca es el mismo en los días, años o siglos sucesivos a diferentes pendientes. Los cambios frecuentes caracterizan al ecosistema (Spurr & Barnes, 1982 citados por González & Sotolongo, 2003).

De acuerdo con (Barnes, Zak, Denton & Spurr, 1998, citados en González & Sotolongo, 2003), las comunidades vegetales son grupos de organismos que se encuentran para ocupar un segmento común en un espacio de la tierra. Por eso, señalan que las comunidades son partes inseparables del ecosistema del paisaje y no sistemas en sí mismos como lo son los organismos y sistemas. Las comunidades vegetales conforman un “todo” integrado.

El hombre está involucrado de manera directa e indirecta con el progreso de la sucesión y la consecución de clímax de una comunidad. Cuando una comunidad estable, que no es el clímax climático o edáfico en relación con el lugar dado, es mantenida por el hombre o por sus animales domésticos, se la puede designar apropiadamente según

Odum (1986 citado por González & Sotolongo, 2003), como disclímax o subclímax antropogénico (producido por el hombre). Odum (1986) explica el siguiente ejemplo: el pastoreo excesivo por parte del ganado podrá producir acaso una comunidad de desierto de arbustos de creosota, mezquite y cactus, allí donde el clima local permitiría que se mantuviera una tierra de pradera. La comunidad del desierto será así el disclímax, mientras que la pradera sería el clímax. En este caso, la comunidad de desierto es prueba de una administración deficiente por parte del hombre, en tanto que la misma, en una región de un verdadero clima desértico, constituiría un estado natural.

La naturaleza está en constante cambio. Los cambios son complejos y dinámicos, además, pueden ser periódicos o episódicos. Se producen cambios en la vegetación, y no se manifiestan en el momento en que se produce el fenómeno en la comunidad vegetal. Por ejemplo, cuando comienza un período seco, las plantas no se marchitan rápido, sino que paulatinamente se van observando en ellas características de marchitamiento (deshidratación); en este fenómeno, los factores ecológicos actúan de forma diferente y de acuerdo con tres elementos: la intensidad, la duración y la frecuencia con que se producen —un cambio pequeño puede provocar efectos de gran alcance— (González & Sotolongo, 2003).

Margalef (1995, citado en González & Sotolongo, 2003) expone que, a menudo, cambios de gran importancia a nivel de los factores físicos del ecosistema son resultado de la actividad de los propios organismos. El microclima de los bosques está controlado por el desarrollo de la vegetación, y en una escala mayor, de tiempo y de espacio, la composición de la atmósfera terrestre y, por lo tanto, de los gases disueltos en el agua en equilibrio con la atmósfera, están regulados por la biósfera.

Begon, Harper & Townsend (1995, citados en González & Sotolongo, 2003) exponen que la sucesión producida en terrenos que de manera reciente han permanecido al descubierto, y en ausencia de influencias abióticas gradualmente cambiantes, recibe el nombre de sucesión autogénica. La secuencia de las fases de esta sucesión se halla controlada principalmente por los cambios de las condiciones ambientales y por la modificación del estado nutricional de la materia orgánica incorporada al suelo.

De manera semejante a lo descrito en los párrafos previos, en el ecosistema (bosque, selva, desierto, pastizal), la interacción de factores geográficos, ecológicos, ambientales y socioculturales ha influido y determinado los procesos de cambio de uso de suelo a través del tiempo en distintas regiones del mundo. Según refieren Spurr & Barnes (1982), el desmonte de las tierras obedece a muchas circunstancias. En el ecosistema ocurren múltiples cambios, algunos originados por las propias interacciones ecológicas —naturales— y otros provocados por las actividades humanas no sustentables de las sociedades —antrópicas—. Desde luego, los factores antrópicos, son los que provocan mayores impactos irreversibles y transformación del paisaje.

Las regiones forestales son húmedas y, en consecuencia, siempre deseables para el establecimiento de cultivos agrícolas. Como la mayor parte de la población mundial vive en regiones forestales, es inevitable que muchos de los bosques del mundo hayan sido talados y la tierra desmontada para aprovecharse en la agricultura (Spurr & Barnes, 1982); además, en años recientes, también se utiliza para el establecimiento de infraestructura que cumpla con las necesidades de vivienda.

Asimismo, Spurr & Barnes (1982), refieren que, en los trópicos, el uso de la tierra forestal para la agricultura es a menudo transitorio, ya que los espacios abiertos para la agricultura se revierten a bosques otra vez (reconversión forestal), después de unos pocos años de cultivo. Incluso en la zona templada, mucha de la tierra que se usó para explotación agrícola en el pasado se ha tornado indeseable para un cultivo continuo o ha sido abandonada, situación que propicia la búsqueda de mejores tierras para la producción. El resultado de esto es la reforestación o el regreso natural de la tierra a su composición original.

El anterior aspecto sociocultural —con implicaciones ecológicas—, concerniente al uso y abandono de la tierra, y que es similar a lo mencionado por Clout, cuando se refiere al abandono de parcelas de cultivo en Gran Bretaña, es resaltado por Spurr & Barnes (1982), quienes afirman que en ciertas regiones de los Estados Unidos de América, la tendencia al abandono de las granjas ha sido intensificada en las últimas décadas por la concentración de la producción de cultivos en las tierras agrícolas; esto, mediante el planeamiento de siembra, el uso de fertilizantes y técnicas de cultivo eficientes. En consecuencia, la sucesión forestal secundaria que sigue al abandono de las granjas y de terrenos es un proceso que se extiende por cientos de miles de hectáreas en áreas forestadas bien colonizadas.

Spurr & Barnes (1982) refieren que el desarrollo más extensivo en el uso agrícola de la tierra se encontró en la zona de Nueva Inglaterra entre 1815 y 1830, y empezó a declinar con la apertura del oeste y su rápido acceso por el Canal de Erie (1815) y las rutas transapalachianas. En el pie de monte ubicado frente al Atlántico, en los estados sureños, la explotación agrícola de las tierras alcanzó su grado máximo al comienzo de la Guerra Civil. En todo el límite costero del este, la mayor parte de las localizaciones de tierras elevadas fueron desmontadas y utilizadas como granjas durante el período 1815-1860, cuando la industrialización del noreste, asociada con la apertura de las tierras agrícolas del medio oeste, inició una disminución lenta en la cantidad de hectáreas disponibles para la agricultura, situación que aún persiste. En muchos casos, los campos fueron abandonados —como las plantaciones de heno o pasturas—, ya que habían dejado de producir cantidades suficientes que justificaran una siega² anual.

2 La siega se refiere a la corta, cosecha, o recolección de hierbas o de los cereales maduros.

Algunos aspectos socioculturales y ambientales no promueven el cambio radical en el uso del suelo, pero sí propician el aclaramiento de las masas arboladas o la disminución de la cobertura de copas³; lo cual resulta más notorio en las zonas tropicales, aunque no es distinto en las regiones de clima templado-frío. En los trópicos, el patrón agrícola en las zonas del bosque lluvioso es de cultivos cambiantes. Los pueblos nativos desmontaron los árboles, con excepción de alguno ocasionalmente grande en un sitio u otro, quemaron los remanentes y sembraron la tierra (Spurr & Barnes, 1982); es decir, se produjo un aclaramiento de la masa forestal. Esta práctica cultural también ocurre en zonas templadas, propiciando la disminución en la cobertura de copas en los bosques originales; además, por ser una sucesión ecológica, cambian las condiciones originales de estructura y composición de las masas arboladas. Adicionalmente, son degradadas las propiedades del suelo en el corto plazo, ya que, una vez preparado el terreno, uno o más cultivos pueden crecer antes de lixiviar el humus y que la compactación del horizonte superior del suelo reduzca su fertilidad y estructura, hasta el punto en que es útil la quema del cultivo.

La ecología forestal aporta argumentos para analizar cómo la explotación maderable propiamente dicha, a través de aprovechamientos controlados o no controlados, puede influir en el grado de cobertura arbolada de un bosque, debido a que, mediante los aprovechamientos maderables, se induce el aclarado de la masa arbolada y la liberación del sotobosque (Spurr & Barnes, 1982), pudiendo ser considerables los impactos ocasionados en el bosque.

El viento es un factor natural que provoca la disminución en el grado de cobertura arbolada, similar a la acción de la explotación forestal. Spurr & Barnes (1982), refieren que la acción del viento sobre los árboles maduros es una causa primordial de la mortalidad en el bosque de crecimiento antiguo y crea huecos — disminución del grado de cobertura arbolada— en la canopia principal, en donde puede avanzar el crecimiento del sotobosque, o germinar y desarrollarse nuevas plantas provenientes de semilleros. Lo anterior, siempre que el hombre no decida, como un agente oportunista, ocupar dichos huecos para establecer cultivos agrícolas o infraestructura diversa, generando con ello cambio en el uso del suelo, o, de acuerdo con lo mencionado por Brunhes (citado en Higuera, 2003), propicia “hechos de ocupación improductiva del suelo” (casas y caminos), “hechos de conquista vegetal” (cultivos), o “hechos de ocupación destructiva” (desmontes y otras devastaciones forestales).

El viento puede actuar como un agente precursor de los procesos de cambio de uso del suelo, ya que su acción puede, de forma natural, dejar al terreno desprovisto de vegetación arbórea (procesos erosivos).

3 El aclaramiento de las masas arboladas se refiere a la disminución del número de árboles por unidad de superficie.

Severas tormentas ocasionales —en particular los huracanes y tornados— pueden destruir cientos o miles de hectáreas en el bosque, iniciando una sucesión forestal secundaria a gran escala. Las evidencias de ello pueden ser preservadas durante muchos años y se manifiestan como: huecos determinados por los agujeros que hacen los árboles al ser desarraigados, y cambios de los estratos de suelo en un terraplén creado por las raíces volcadas, en el extremo del hueco —este micro relieve de pozos y terraplenes provee de hábitats para el establecimiento de diferentes especies— (Lyford MacLean, 1966; Stone, 1975, citados en Spurr & Barnes, 1982).

Las aportaciones de la ecología forestal al estudio de los procesos de cambio de uso del suelo, los impactos ambientales que ocasiona y la transformación del paisaje son relevantes, pues, en primer término, en su contexto teórico analiza los cambios naturales que ocurren en el ecosistema forestal, haciendo énfasis en las escalas espaciales y temporales. La ecología forestal sustenta que un ecosistema siempre está en constante cambio, y que son múltiples los factores naturales y antrópicos que pueden ocasionar cambios en el ecosistema natural.

En la segunda mitad del siglo xx, otras ciencias naturales y aplicadas empezaron a involucrarse en el estudio de los procesos de cambio de uso del suelo, principalmente las ciencias forestales, la agronomía, biología, ecología, la percepción remota y las ciencias ambientales (Briassoulis, 2019). Por ello, desde esta época, la ecología forestal tiene tradición en los estudios de cambio de uso del suelo.

Importancia social de la ecología humana

Tres fuentes principales de desarrollo ha tenido la ecología humana: la ecología vegetal y animal, la geografía humana y los estudios de distribución espacial de los fenómenos sociales. El término ecología humana fue acuñado por Park y Gurgess en 1921, y respondía a la pretensión sistemática de aplicar al estudio de comunidades humanas el esquema teórico —básico para la ecología vegetal y la ecología animal— (Theodorson, 1974). El sistema teórico de los ecólogos clásicos hace referencia a que el proceso básico de las relaciones humanas es la competencia que, a su vez, implica la lucha por el espacio.

Entre los humanos, a causa del elevado grado de interdependencia y división del trabajo, la competencia comporta de forma inédita un grado automático y no planificado de cooperación, formando así lo que se denomina cooperación competitiva. Los hombres, como producto de la cooperación competitiva, integran relaciones de interdependencia no planificadas, denominadas relaciones simbióticas. Park considera que la sociedad humana está organizada en dos niveles básicos: el nivel biótico y el nivel cultural. El nivel biótico implica reacciones adaptativas, no mediadas, descargadas en la lucha por la existencia. A este nivel lo considera

subsociedad y basado en la organización de relaciones simbióticas. La lucha por la existencia está basada en la cooperación competitiva, cristaliza y resulta en la organización de la sociedad del nivel biótico, y determina asimismo la distribución espacial de los individuos. El autor concluye que la distribución espacial refleja la organización del nivel biótico de la sociedad. Cree que el nivel cultural de la sociedad está basado en la comunicación y el consenso, y lo concibe como una supraestructura del nivel biótico. Al nivel biótico lo presenta como una comunidad, y al nivel cultural como sociedad (Theodorson, 1974).

En el contexto de la ecología humana se enmarca la teoría concéntrica (modelo concéntrico o de anillos, o crecimiento de las ciudades en coronas concéntricas), la cual fue formulada por E. Burgess en 1925. En esta teoría se expone que la mayoría de las ciudades crece hacia el exterior en anillos concéntricos. Para analizar y explicar el comportamiento del crecimiento de las ciudades utiliza modelos, los cuales también pueden ser usados en el estudio de los procesos de cambio de uso del suelo y la composición poblacional. Burgess subrayó el dominio del distrito comercial central y cómo, gracias a la distancia e influencia respecto al mismo, se configuraban naturalmente áreas diferentes de población y uso del suelo homogéneas.

La ecología humana se refiere al estudio inter y transdisciplinario de las relaciones entre los seres humanos y su entorno natural, social y el ambiente construido. Asimismo, analiza las conexiones de la población con los componentes de los ecosistemas. Su objeto de estudio son las múltiples interacciones entre los grupos humanos y el entorno. Tiene como punto de partida la analogía entre los ecosistemas vivos y el mundo de las relaciones interpersonales (Restrepo, 2002).

La aplicación de la ecología humana en el contexto del análisis de los procesos relacionados con el cambio de uso del suelo es útil al momento de involucrar múltiples disciplinas en el estudio de los individuos y los grupos. De la misma manera, apoya al estudio de los ambientes como escenarios o contextos de la vida individual y grupal, pues los ambientes son fuentes importantes de recursos esenciales para la subsistencia de las personas, y las acciones de las sociedades tienen lugar en el espacio donde viven o donde realizan sus actividades cotidianas. Los procesos de cambio de uso del suelo pueden comprenderse desde una dimensión social, pero sin disociar las condiciones o la influencia del medio.

Teorías de cambio de uso del suelo

En la época actual, existe una gran cantidad de teorías y enfoques para el estudio de los procesos de cambio de uso del suelo. Sin embargo, a pesar de la diversidad de teorías y enfoques existentes y disponibles en la literatura, tanto clásica como contemporánea, lo más importante es utilizar fundamentos teóricos que proporcionen sustento o soporte a las investigaciones. No se debe recurrir solamente a

métodos, técnicas y herramientas para su cuantificación, medición y representación espacial, pues la teoría ayuda a llevar a cabo el análisis, explicación y evaluación de los procesos socioambientales relacionados con dicha problemática, cuyo interés es mundial. Al utilizar teorías de uso del suelo, los estudios e investigaciones adquieren un carácter científico. La siguiente tabla contiene algunas teorías y enfoques teóricos útiles para la materia.

Tabla 1. Clasificación de teorías de uso del suelo

Categoría teórico tradicional	Enfoque representativo
<p><i>Economía urbana y regional</i> (ciencias regionales)</p>	<p><i>Enfoque teórico de la microeconomía</i> Teorías de la renta de tierras agrícolas (Von Thunen 1966; original, 1826). Teorías de mercado del suelo urbano (Alonso, 1964). Teorías basadas en agentes de la estructura espacial urbana y regional (Henderson & Mitra, 1966; Krugman, 1995; Anas <i>et al.</i>, 1998, Fujita <i>et al.</i>, 1999).</p> <p><i>Enfoque teórico de la macroeconomía</i> Teoría del equilibrio económico espacial (Weber, 1929; Losch, 1954; Isard <i>et al.</i>, 1969; Takayama y Labys, 1986; Andersson & Kuenne, 1986; Ginsburgh & Keyser, 1997). Teoría del desequilibrio regional: Teoría de la causalidad acumulativa (Myrdal, 1957). Teoría de los polos de crecimiento (Perroux, 1955; Boudeville, 1966). Teoría keynesiana del desarrollo regional Modelo de Harrod-Domar, Modelo basado en la exportación, Modelos de factor de exportación, Modelo de crecimiento neoclásico multiregional (Cooke, 1983; Hoover & Girratani, 1984, 1999; Andersson & Kuenne, 1986; Bennett & Hordjik, 1986).</p> <p><i>Otros enfoques teóricos en ciencias regionales</i> Física social (Reilly, 1931; Stewart, 1950; Wilson y Bennet, 1986; Isard, 1999). Ecología urbana y regional (Wilson, 1981; Dendrinis & Mullaly, 1985; Nijkamp y Reggiani, 1998).</p>
<p><i>Sociología</i> (economía política)</p>	<p><i>Enfoque teórico funcionalista-conductista</i> Teorías de la ecología humana: Teoría de las zonas concéntricas (Burgess, 1925). Teoría del sector radial (Hoyt, 1939). Teoría de múltiples núcleos (McKenzie, 1933; Harris & Ullman, 1945). Concepto de ocupación secuencial (Whittlesey, 1929).</p> <p><i>Teorías de la planeación</i> Teoría espacial de la estructura metropolitana (Foley, 1964). Teoría del lugar urbano y lo no urbano (Webber, 1964). Teoría de sistemas de las actividades (Chapin, 1965).</p>

	<p><i>Enfoque teórico institucionalista-estructuralista</i> Movimientos sociales urbanos (Castells, 1977). Teoría del nexo del suelo urbano (Scott, 1980). Teoría de la crisis del capitalismo tardío (Harvey, 1973, 1975, 1982). <i>Teoría central-periferia</i> Teoría de la modernización (Lewis, 1955). Teoría de las etapas del crecimiento económico (Rostow, 1960). Modelo núcleo-periferia (Friedmann, 1966). Colonialismo interno (Hechter, 1975). Teoría del sistema mundial (Wallerstein, 1974; 1979). <i>Teoría del intercambio desigual</i> Intercambio desigual (Emmanuel, 1972). Desarrollo desigual (Amin, 1976, 1978) Teoría de la dependencia (Frank, 1969, 1979; Dos Santos, 1970; Cardoso, 1973). <i>Teoría del desarrollo desigual-lógica del capital</i> Intercambio Desigual Regional (Lipietz, 1977; 1980). Teoría de las divisiones espaciales del trabajo (Massey, 1984). Desarrollo desigual (Smith, 1990).</p>
<p><i>Naturaleza – sociedad</i> (Hombre-ambiente o sociedad-naturaleza)</p>	<p><i>Teorías basadas en las humanidades</i> Tesis de Frontera (F.J. Turner, 1984; Richards, 1990). Ambiente/Antropología cultural: Estructuralismo (Levi-Straus, 1963, Tuan, 1971; Graber, 1976). Antropología cognitiva (Rapaport, 1976). Psicología Ambiental (Boulding, 1956; Lynch, 1960). <i>Teorías basadas en las ciencias naturales</i> Determinismo Ambiental (Hipócrates, Aristóteles, Montesquieu, McHarg, 1969). Ecología cultural (Steward, 1955; Rappaport, 1968, Bennett, 1976; Ellen, 1982; Rambo, 1983). Escuela de Berkeley —Geografía— (Sauer, 1925). <i>Teorías basadas en las ciencias sociales</i> Teoría de la Cultura del consumo masivo (Sack, 1990). Revolución ecológica (Merchant, 1990). Enfoques Multidisciplinarios del Concepto de Equilibrio Ecológico: Commoner, 1972; Meadows <i>et al.</i>, 1972; Ehrlich y Ehrlich, 1990; Coccossis, 1991; Lutz, 1994; Meyer and Turner, 1994; Heilig, 1996.</p>

Fuente: Briassoulis (2019).

Capítulo III

Métodos y técnicas de cambio de uso del suelo

Insumos cartográficos tradicionales

El desarrollo de investigaciones asociadas con los cambios ocurridos en las cubiertas terrestres y usos del suelo de un determinado espacio geográfico y en una dimensión temporal requiere, en términos prioritarios, del uso y manipulación de distintos insumos cartográficos, sobre todo de mapas de uso de suelo y vegetación, pues es a partir de estos que los especialistas en el área, así como las autoridades responsables del uso y manejo de los recursos naturales, establecen e implementan políticas orientadas al aprovechamiento y conservación de éstos (Millington & Alexander, 2000).

Durante décadas, los materiales cartográficos —por ejemplo, los mapas de uso de suelo y vegetación— se adquirían en formato análogo (papel). En la actualidad, estos insumos se encuentran disponibles en internet (Mas & Couturier, 2011), para su posterior uso y manejo en un Sistema de Información Geográfica. Estas herramientas permiten identificar y representar en un contexto espacial las áreas más susceptibles a ser modificadas. Además, ayudan a comprender los procesos y la dinámica de cambio que experimentan las distintas coberturas terrestres y usos del suelo de un territorio específico. En ocasiones, se utilizan para el desarrollo de modelos de cambios de uso de suelo y vegetación sustentados en el diseño y construcción de diferentes escenarios hipotéticos (Veldkamp & Lambin, 2001; Xiang & Clarke, 2003).

En el presente, los especialistas que estudian las alteraciones, modificaciones y fragmentaciones ocurridas en los distintos paisajes naturales y antrópicos (culturales) de la superficie terrestre utilizan, con frecuencia, mapas de uso de suelo y vegetación derivados de la interpretación visual de imágenes de satélite. Estas últimas, pueden ser de mediana o alta resolución espacial. Es a partir de dichos insumos cartográficos que se puede identificar, describir, cuantificar, localizar, analizar, evaluar, explicar y modelar la dinámica y los procesos de cambio que acontecen en las comunidades vegetales y usos del suelo de un espacio geográfico específico.

Durante décadas, en México, el desarrollo de investigaciones de cambio de uso del suelo y vegetación se sustentó en el uso de materiales cartográficos relaciona-

dos con las distintas coberturas y usos del suelo del territorio mexicano. El manejo, análisis e interpretación de los datos derivados de estos insumos cartográficos (tasas de cambio, pérdidas, ganancias, cambio neto, cambio total, intercambios, índices de persistencia), ha generado un cierto grado de incertidumbre o inquietud en la comunidad científica y académica. Dicha sensación se manifiesta prioritariamente los especialistas que realizan investigaciones enfocadas hacia esta temática, pues, en ocasiones, en el contenido de los documentos se hallan implícitos el diseño e implementación de estrategias orientadas al cuidado, conservación, manejo y uso de los recursos naturales. La preocupación por utilizar estos materiales radica en la calidad de los insumos cartográficos, la metodología utilizada para su elaboración y la falta de aplicación de métodos que validen su confiabilidad (Mas, Reyes & Pérez, 2003; Mas & Couturier, 2011).

Con fundamento en lo anterior, es recomendable —y, hasta cierto punto, necesario— que los mapas de uso de suelo y vegetación (productos de la interpretación de imágenes de satélite o fotografías aéreas) se sometan a procesos relacionados con la evaluación de la confiabilidad temática (Mas *et al.*, 2003). Se debe considerar que, en la actualidad, estos insumos cartográficos se utilizan con frecuencia para el diseño y construcción de modelos y escenarios asociados con los cambios de cobertura y uso del suelo, siendo estos el referente para el desarrollo de políticas que coadyuvan al cuidado, preservación y restauración de los recursos naturales.

La evaluación de la confiabilidad temática de mapas de uso de suelo y vegetación o de imágenes de satélite clasificadas es un tema que está cobrando mucho interés, sobre todo para los investigadores especialistas en la elaboración de estudios de cambios de cobertura vegetal y uso del suelo (Cortina, Macario & Ogneva-Himmelberguer, 1998; Bocco *et al.*, 2000; Buendía, Terrazas & Vargas, 2002; Velázquez, Mas, Díaz, Mayorga, Alcántara, Fernández, Bocco, Ezcurra & Palacios, 2002; Mas *et al.*, 2003; Antonio *et al.*, 2006; Franco, Regil, González & Nava, 2006; Valdez, Aguirre & Ángeles, 2011; Champo, Valderrama & España, 2012). Determinar la confiabilidad de un producto cartográfico, en especial la de los mapas de uso de suelo y de vegetación, permite a los usuarios valorar su ajuste y adecuación con la realidad y posteriormente asumir el riesgo de tomar decisiones con base en la información que presentan. Además, contribuye a conocer y modelar el error que resulte de la sobreposición de varias capas con cierto grado de error en un SIG (Walsh, Lightfoot & Buttler, 1987; Luneta, Congalton, Fenstermarker, Jensen, McGW & Tinney 1991; Goodchild, Gouquing & Shiren, 1992; Burrough, 1994).

En las últimas décadas, los métodos y técnicas relacionadas con la teledetección (Chuvieco, 2008; Lira, 2010, citados en Camacho *et al.*, 2015) y la geomática (Álvarez, 2012, citado en Camacho *et al.*, 2015), aplicados al estudio, monitoreo y evaluación de los recursos naturales han propiciado avances importantes para

la toma de decisiones de política pública orientada a la conservación, manejo y restauración de los ecosistemas terrestres, acuáticos, marinos y de humedales. Asimismo, el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) ha contribuido al desarrollo de investigaciones que tienen como objetivos: a) describir y evaluar, desde el punto de vista cuantitativo, la dinámica de cambios de las coberturas vegetales y usos del suelo de un determinado lugar y en una dimensión temporal; b) identificar y predecir las áreas más susceptibles a cambiar; c) comprender los procesos que derivan en los cambios, relacionados al uso y aplicación de variables espaciales explicativas, y d) modelar los procesos de cambio para la construcción de escenarios prospectivos (Mas & Flamenco, 2011; Veldkamp & Lambin, 2001; Xiang & Clarke, 2003, citados en Camacho *et al.*, 2015).

Modelos de cambio de uso del suelo

Un modelo es una representación abstracta, gráfica o visual de un objeto, hecho, fenómeno, sistema, procedimiento o transformación. Es utilizado para describir, analizar, simular, interpretar, explicar, explorar y predecir el comportamiento de un proceso, manifestación o fenómeno. Las teorías o enfoques para la construcción, uso y validación de los modelos tienen sustento en disciplinas relacionadas con la metodología, filosofía de la ciencia, teoría general de sistemas, teoría de los sistemas complejos, y las matemáticas.

El desarrollo y generación del conocimiento científico se ha sustentado en modelos. Actualmente, diversas disciplinas han generalizado el uso de los mismos para explicar una amplia diversidad de circunstancias, procesos, manifestaciones y fenómenos que ocurren en la naturaleza y en el contexto de la vida cotidiana. Por ejemplo, existen modelos económicos, geográficos, geológicos, hidrológicos, ecológicos, químicos, físicos, matemáticos, educativos, sociológicos, culturales, etc.

En el proceso de generación de conocimientos el uso de modelos es importante, por ello se debe tener presente que entre un modelo y una teoría existen ciertas relaciones y asociaciones que no deben disociarse ni utilizarse de manera individual. El modelo en el contexto de una teoría es equivalente a la interpretación de los principios de la misma, pues en general una teoría es explicada y aplicada a través de la utilización de modelos. En ocasiones, el término modelo es utilizado indistintamente como teoría —modelo teórico— (Briassoulis, 2019).

Los modelos pueden considerarse como la representación formal de una teoría o sistema (Wilson, 1974 citado en Briassoulis, 2019). Son abstracciones aproximadas de la realidad, las cuales se logran mediante la simplificación de complejas interacciones y relaciones del mundo real (Briassoulis, 2019). La representación de la realidad se expresa con símbolos, mediante técnicas matemáticas y la manipulación de relaciones entre los componentes —estructuras— del modelo.

Diversos autores exponen que la teoría proporciona un marco de referencia general en el proceso de la explicación, mientras que un modelo es “algo idealizado y la representación estructurada de lo real” (Johnston *et al.*, 1994 citados en Briassoulis, 2019), o un diseño experimental sustentado en una teoría (Harris, 1966 citado en Briassoulis, 2019).

En el contexto del quehacer científico y académico, los conocimientos de la realidad inician con situaciones ideales —abstractas—, o sea, se parte de un modelo para conocer la realidad del objeto, hechos, fenómenos o procesos que se pretenden investigar. La elaboración y aplicación de un modelo es parte importante de las actividades y tareas que realizan los científicos.

Los modelos tienen múltiples usos y aplicaciones en la mayoría de las disciplinas, pues el principio de los estudios e investigaciones se inicia con la elaboración de estos. En el caso de los modelos utilizados para el estudio de la tierra, el suelo y el cambio de uso del suelo existe amplia diversidad, todos con diferentes propósitos, dimensiones y grados de confiabilidad y validez. En los modelos utilizados para representar los usos y cambios de uso del suelo, el suelo es conceptualizado como un área delineable de la superficie terrestre (Briassoulis, 2019).

En la selección de modelos para investigar, describir, explicar, analizar, interpretar predecir o evaluar los procesos de cambio de uso del suelo a nivel local, metropolitano regional o global se deben tomar en cuenta, de manera preliminar, los propósitos y dimensiones de los estudios e investigaciones, así como las teorías que sustentarán las explicaciones, esto en virtud del sinnúmero de modelos y teorías existentes. De acuerdo con Turner *et al.* (1995, citados en Briassoulis, 2019) los procesos de cambio de uso de suelo son producto de una compleja red de interacciones entre fuerzas biofísicas y socioeconómicas sobre el espacio y el tiempo, razón importante para la selección de modelos que coadyuven a obtener resultados confiables.

En la siguiente tabla se presenta la diversidad de modelos útiles para el análisis, explicación, interpretación, evaluación y construcción de escenarios de cambio de uso del suelo. Es pertinente mencionar que, aunque no son los únicos, contienen elementos valiosos que pueden apoyar al estudio de los procesos de cambio de cobertura y cambio de uso del suelo.

Es importante referir que en la siguiente tabla sólo se presentan los nombres de los modelos, los teóricos o instituciones que los elaboraron y sus fuentes bibliográficas respectivas. Lo anterior, con el propósito de disponer de datos valiosos al momento de iniciar investigaciones en este campo. Las descripciones específicas de cada uno de los modelos están contenidas en el libro *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches* (Briassoulis, 2019), por lo que es conveniente recurrir a esta obra, o a las fuentes originales de cada uno de los modelos.

Tabla 2. Clasificación de modelos para cambios de uso del suelo

Categoría modelos tradicionales	Modelos representativos
<p>Modelos estadísticos y econométricos</p>	<p><i>Modelos de regresión lineal</i> (Chapin, 1965; Chapin y Weiss, 1968; Lee, 1973; Veldkamp y Fresco, 1996; Verburg <i>et al.</i>, 1997).</p> <p><i>Modelo empírico</i> (Hill, 1965).</p> <p><i>Modelos multinomiales</i> (Kitamura <i>et al.</i>, 1997; Morita <i>et al.</i>, 1997).</p> <p><i>Modelo de análisis de correlación canónica</i> (Hoshino, 1996).</p>
<p>Modelos de interacción espacial</p>	<p><i>Modelos potenciales</i> (Hansen, 1959).</p> <p><i>Modelos de intervención de oportunidades</i> (Stouffer, 1949; Schneider, 1959; Lathrop y Hamburg, 1965).</p> <p><i>Modelos de gravitación/interacción espacial</i> (Niedercorn & Bechdolt, 1969; Golob & Beckmann, 1971; Lee, 1973; Wilson, 1974; Haynes & Fotheringham, 1984; Batten & Boyce, 1986).</p>
<p>Modelos de optimización</p>	<p><i>Modelos de Herbert-Stevens de programación lineal simple y multiobjetivos</i></p> <p>Modelo de programación lineal (Herbert & Stevens, 1960).</p> <p>Modelo del Plan Regional Meridional de Wisconsin (Schlager, 1965).</p> <p>Modelos de Programación Lineal de Objetivos Múltiples (Comisión regional de planeación del Condado de DuPage) (Bammi <i>et al.</i>, 1976).</p> <p>Modelos de programación lineal para regiones agrícolas (Campbell <i>et al.</i>, 1992; Stoorvogel <i>et al.</i>, 1995).</p> <p>Modelo General de Asignación Óptima de Uso del Suelo (Latesteijn, 1995).</p> <p><i>Programación Dinámica</i> (Hopkins <i>et al.</i>, 1978).</p> <p><i>Programación por Objetivos</i> (Loneragan & Prudham, 1991).</p>

	<p><i>Modelo de Programación Jerárquica</i> (Nijkamp, 1980).</p> <p><i>Problema de diagnósticos Lineal y Cuadrático</i> (Moore & Gordon, 1990; Moore, 1991).</p> <p><i>Modelos de programación no lineal</i> (Adams <i>et al.</i>, 1994).</p> <p><i>Modelos de utilización máxima</i> (Wingo, 1961; Alonso, 1964; Muth, 1961, 1969; Mills, 1967, 1972).</p> <p><i>Modelos multiobjetivo/multicriterio para toma de decisiones</i> (Janssen, 1991; Fischer <i>et al.</i>, 1996b).</p>
<p>Modelos integrados</p>	<p><i>Modelos integrados econométricos</i> Modelo de Penn-Jersey (Seidman, 1969; Wilson, 1974).</p> <p><i>Modelos integrados de interacción gravedad- espacial</i> El Modelo Lowry (1964) (Garin, 1966). Modelo: TOMM (Crecine, 1964, 1968). Modelo: PLUM (Goldner <i>et al.</i>, 1971). Modelo de acciones y actividades urbanas (Batty, 1976).</p> <p><i>Modelos integrados de simulación</i> Modelos de simulación a nivel urbano/metropolitano a. San Francisco CRP (Rothenberg-Pack, 1978). b. UI, NBER, HUDS Modelo de Simulación Urbana (Kain, 1986). c. CUFM (Landis, 1994, 1995). d. Modelo de simulación dinámica</p> <p><i>Modelo Dortmund</i> (Wegener, 1982)</p> <p><i>Modelo Integrado de Uso del Suelo/transporte</i> (ITLUP: Putman, 1983, 1991), (TRANUS: de la Barra, 1989). (CATLAS: Anas, 1982, 1983).</p> <p><i>Modelos de Simulación a Nivel Regional</i> a. CLUE-RE (Veldkamp y Fresco, 1996) b. Autómata Celular (White & Engelen, 1994; Engelen <i>et al.</i>, 1995). c. LUC (Fischer <i>et al.</i>, 1996a). d. IMPEL (Rounsevell, 1999).</p> <p><i>Modelos de Simulación a Nivel Global</i> a. IFS (Liverman, 1989). b. IMAge 2.9 (Alcamo, 1994).</p>

	<p><i>Modelos integrados basados en entradas y salidas</i></p> <p>Modelos Compact I-O</p> <ol style="list-style-type: none"> U.N. Modelo Mundial (Leontief, 1977). Modelo Ecológico-económico (Daly, 1968; Isard, 1972; Victor, 1972). <p>Modelo Modular con un componente I-O</p> <ol style="list-style-type: none"> Modelo PDE (Mauritius) Lutz, 1994a.
Otros enfoques de modelos	<p><i>Enfoques de modelos orientados a las ciencias naturales</i></p> <p>Enfoque del Modelo Ecológico (Turner <i>et al.</i>, 1995).</p> <ul style="list-style-type: none"> Modelos de vegetación y ecosistemas Modelos para el sector forestal Modelos para erosión del suelo Modelos de impacto de cambio climático <p><i>Modelo de Markov para cambio de uso del suelo</i> (Clark, 1965; Drewett, 1969; Bell, 1974, 1975; Bella e Hinojosa, 1977; Bourne, 1971; Vandever & Drummond 1978; Logsdon <i>et al.</i>, 1969.</p> <p><i>Modelos basados en SIG: cambio de uso del suelo</i> (Aspinall, 1994; Longley & Batty, 1996; Fischer & Nijkamp, 1996; Liverman <i>et al.</i>, 1998.</p>

Fuente: Briassoulis (2019).

Estudios de cambios de uso del suelo en México

En los siguientes párrafos se presentan, de manera general, algunos artículos científicos para reconocer la utilidad y relevancia de los modelos de cambio de uso del suelo, haciendo énfasis en los propósitos de su uso y las aplicaciones correspondientes.

Un estudio importante de cambio de uso del suelo en México, que ha sido utilizado como sustento y referente para la continuidad de investigaciones a distintas escalas, fue realizado por Velázquez *et al.* (2002). Su título es *Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México*. En este estudio a escala nacional, los autores exponen que generalmente los enfoques utilizados para el análisis de cambio de cobertura y uso del suelo —incluyendo el forestal— no son homogéneos, y por ello los productos obtenidos son incomparables en términos de las categorías de mapeo que se utilizan, así como las escalas de trabajo (tiempo-espacio). Además, las estimaciones adolecen de la falta de mecanismos de evaluación de calidad de las bases de datos analizadas y confiabilidad de los resultados obtenidos. Las extrapolaciones a nivel nacional, por tanto, son poco confiables y carecen de precisión para entender las transiciones en los usos del suelo (Velázquez *et al.*, 2002).

Es primordial mejorar los mecanismos de evaluación, predicción y seguimiento para que los estudios sean más confiables y describan la dinámica del capital natural que resguarda México en sus ecosistemas. Los autores expresan la necesidad de contar con bases de datos multitemporales, compatibles en sus categorías y con alta calidad geográfica, que permitan responder a estas demandas de manera expedita (Velázquez *et al.*, 2002).

El Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México realizó una investigación con los siguientes objetivos: a) evaluar la confiabilidad y mejorar —tanto en términos informativos como en la representación cartográfica— la calidad de las bases de datos del tema de uso de suelo y vegetación disponibles para México, a escala 1:250,000; b) desarrollar una estrategia de compatibilidad entre las bases de datos; c) comparar en forma cartográfica y estadística los datos, para obtener predicciones que describan la dinámica de la cubierta del suelo y las tasas de pérdida del capital natural.

En el estudio fueron utilizadas bases de datos oficiales (INEGI) sobre vegetación y uso del suelo, disponibles para todo el territorio nacional, y los inventarios forestales de 1994 y 2000. La cartografía de uso del suelo y vegetación del INEGI, escala 1 250,000, se elaboró a partir de la interpretación de fotografías aéreas de los años 1968 y 1986, y también con registros en trabajo de campo que incluyó más de diez mil sitios de verificación. El procesamiento y manejo de información comprendió actividades diversas como: digitalización elaboración de espacio-mapas, tratamiento de imágenes Landsat TM, actualización de cartografía, análisis visual de composiciones a color, uso del sistema clasificatorio de la FAO, evaluaciones de confiabilidad, análisis de fotografías digitales (Velázquez *et al.*, 2002).

Las bases de datos obtenidas ofrecen una indicación cuantitativa de confiabilidad, alta flexibilidad en su manejo digital al ser compatibles con otros sistemas, y están actualizadas en su contenido. Estos resultados permiten tener una visión sinóptica y cuantitativa de la condición de los recursos naturales y su dinámica espaciotemporal a nivel nacional. Sus aplicaciones potenciales son las siguientes:

- a. Identificación de los principales focos de cambio y sus procesos asociados, como la deforestación y la fragmentación. A partir de esto se puede predecir la dirección del cambio. Se pueden medir las implicaciones ambientales o sociales de estos cambios probables, sus repercusiones económicas, y establecer mecanismos de control de las causas de origen. Además, es posible generar un sistema de seguimiento y actualización.
- b. Análisis de la situación actual y potencial de los bienes y servicios ambientales. Este, generalmente se deriva de un buen inventario de sus recursos naturales y su dinámica. Entre los servicios y bienes de consumo directo destacan el agua

y la masa forestal, misma que funciona como trampa para el carbono y mitiga el calentamiento global.

- c. En diversos estudios regionales es necesario contar con este tipo de datos para identificar las áreas más favorables para fines de conservación y desarrollo regional.

Los autores enfatizan que en los estudios de cambio de cobertura y cambio de uso del suelo a nivel regional —estatal, municipal o por región hidrológica— es indispensable mejorar las fuentes de datos de referencia con intensivo trabajo de campo que considere aspectos florísticos-fisonómicos de la vegetación. Esta parte de los trabajos de investigación en la materia es importante, toda vez que directamente en campo se registran las condiciones reales de la vegetación; asimismo, pueden verificarse los efectos e impactos y transformaciones que provocan los procesos de cambio de cobertura del suelo y cambio de uso del suelo.

A nivel local, Lovera, Torres, Roldán & Sánchez (2019) elaboraron el estudio *Aptitud del paisaje para turismo de naturaleza y cambios de uso de suelo y vegetación. Estudio comparativo de 1994 y 2016 en Valle de Bravo, Estado de México*. Con escenas de dos imágenes satelitales Landsat de la zona de Valle de Bravo, de julio de 1994 (Pat-Row, 27-47) y junio de 2016 (Earth Explorer, 2016), capturadas por los satélites Landsat 5 y Landsat 8, respectivamente, con una resolución espacial de treinta metros, se hizo el análisis de los procesos de cambio de uso del suelo y vegetación, con el fin de determinar la aptitud para el turismo de naturaleza. Las categorías de análisis estuvieron constituidas por doce clases, lo cual fue sustentado en la clasificación de uso del suelo y vegetación del INEGI (2014, citado en Lovera *et al.*, 2020). Por otra parte, el método de clasificación para la elaboración de los mapas correspondientes fue supervisado (Chuvienco, 2002 citado en Lovera *et al.*, 2020). La fiabilidad de la clasificación de 1994 fue obtenida mediante comparación de puntos procedentes de fotografía aérea, escala 1:75,000, de 1994 (INEGI, 1994, citado en Lovera *et al.*, 2020). Para 2016 se obtuvieron puntos de control en la zona de trabajo, comparados con imágenes del programa Google Earth (2005, 2010). El modelado de cambios del suelo fue elaborado con el módulo Land Change Modeler del software IDRISI (Eastman, 2012).

Las dinámicas de cambio de uso del suelo y vegetación se encuentran interrelacionadas con procesos y tendencias regionales de transformación social y económica de los paisajes, así como con los modos de vida de los habitantes locales (Wang & Liu, 2013). Las transformaciones territoriales urbanas condujeron a cambios en el uso del suelo y la vegetación, y, por lo tanto, en la provisión de los servicios ecosistémicos de recreación y turismo de naturaleza. Ello también incrementó la baja aptitud. Las cronologías de desarrollo socioambiental y trayectorias de cambio de uso del suelo deben sustentarse en un nuevo orden de jerarquías

sociopolíticas y arreglos institucionales, que den sentido a un desarrollo territorial armónico, tanto social como ambiental.

En el Municipio de Valle de Bravo, los cambios de uso del suelo y vegetación están definidos por el entorno físico, los múltiples usos del suelo y las estrategias de gestión aplicadas, así como por las prácticas de producción económica regionales, las cuales pueden determinar el tipo de relaciones entre la población, el territorio y la gobernanza local. Los cambios son significativos y ocurrieron en sitios transformados debido al abandono de tierras (Vega & Márquez, 2007, citados en Lovera *et al.*, 2020).

El territorio del Municipio de Valle de Bravo forma parte de diversas áreas naturales protegidas. Aunque la creación de dichos espacios pareciera ser una estrategia efectiva para conservar la biodiversidad, se observan aislados en el contexto regional respecto a las dinámicas de los cambios (Palomo, Martín, Zorrilla, García del Amo & Montes, 2013, citados en Lovera *et al.*, 2020), lo cual amenaza su propia conservación a largo plazo, situación que disminuye la aptitud del municipio para el turismo de naturaleza.

La aplicación de modelos para el análisis de los procesos de cambio de uso del suelo a escala local en varias regiones de México es relevante, con base en la preocupación de diversos especialistas por conocer las tasas de cambio, los impulsores que los ocasionan y los impactos que provocan. En este sentido, Camacho *et al.* (2015) realizaron el estudio titulado: *Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la zona de transición Mexicana de Montaña*. El objetivo fue analizar los cambios de cobertura y uso del suelo ocurridos entre 1989 y 2009 en la porción sur-poniente del Estado de México, a través de mapas de uso de suelo y vegetación, producto de la interpretación de imágenes de satélite (Landsat TM) y la aplicación del algoritmo máxima verosimilitud. Con imágenes de satélite del sensor Landsat Thematic Mapper (TM) de la época seca-fría (diciembre de 1989 y noviembre de 2009) se elaboraron los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo.

Las categorías de análisis utilizadas en la clasificación de las imágenes de satélite se determinaron en función de: a) la problemática a estudiar: disminución o pérdida de la cobertura forestal, resultado de la sustitución o reemplazo de otras coberturas vegetales y usos del suelo; b) los recorridos en campo —observación directa— y c) las posibilidades de discriminación que tiene el investigador, respecto de las coberturas y usos del suelo durante el proceso de interpretación de las imágenes. Las categorías de análisis corresponden a Bosque (Bs), Cuerpos de agua (Ca), Agropecuario (Agp), Asentamientos humanos (Ah) y Agricultura tecnificada controlada —invernaderos— (Atc).

Las actividades más importantes en esta investigación fueron los procesos relacionados con la corrección radiométrica y atmosférica, para ajustar y mejorar

los valores radiométricos y la calidad de las imágenes de satélite. A partir de la combinación de las bandas TM4 (infrarrojo cercano), TM3 (visible rojo) y TM2 (visible verde), fue posible identificar e interpretar las categorías de análisis y la digitalización de setenta campos o áreas de entrenamiento. La localización y distribución espacial de los campos de entrenamiento se realizó de modo aleatorio y homogéneo —con un mínimo de diez campos para cada una de las categorías—, y a través de recorridos *in situ*, además el uso y manejo del sistema de geoposicionamiento global (GPS). La delimitación de las áreas de entrenamiento se realizó con base en la regla general de Jensen (1996), que consistió en considerar, al menos, diez veces el número de bandas utilizadas en la elaboración de las estadísticas o parámetros de clasificación. Para calibrar el clasificador se utilizaron los píxeles prototipo de cada categoría —áreas de entrenamiento—, y después se representaron gráficamente a través de histogramas, obteniendo firmas espectrales de cada categoría.

La clasificación supervisada de imágenes de satélite se hizo con la aplicación del algoritmo máxima verosimilitud —máxima probabilidad—, el cual considera los parámetros de clasificación previamente calculados para etiquetar cada píxel de la imagen en una de las clases definidas (Lira, 2010, citado en Camacho *et al.*, 2015). A través de ello, se pudieron generar los mapas de uso de suelo y vegetación de los años 1989 y 2009, producto de la aplicación de la corrección radiométrica, corrección atmosférica, interpretación de imágenes de satélite (Landsat TM) y el método supervisado máxima verosimilitud. La información —es decir, los datos— fue procesada en la herramienta Idrisi Selva.

Los cambios ocurridos en los paisajes naturales y socioculturales de la zona están asociados con la disminución y pérdida de los bosques. Los datos obtenidos muestran que esta zona ha experimentado un proceso de deforestación en un período de veinte años, siendo notable la tasa de decremento del bosque. Otro resultado relevante es el incremento de la tasa anual de la categoría "Agropecuario", lo cual puede atribuirse a la expansión de la frontera agrícola y a la apertura de nuevos espacios para la práctica de actividades pecuarias en terrenos con vocación forestal, incrementándose a expensas del área que comprendía a los bosques. Este análisis se sustenta en la aplicación de la observación directa *in situ*, comprobando que los bosques disminuyeron por la práctica de tala clandestina, incendios forestales, agricultura mediante roza-tumba-quema y la apertura de nuevos espacios agrícolas y ganaderos en sistemas de lomeríos, con pendientes mayores a cuarenta y cinco grados.

A nivel metropolitano, Palomeque, Galindo, Escalona, Ruiz, Sánchez & Pérez (2017) en su investigación *Análisis del cambio de uso del suelo en el ecosistema urbano del drenaje del Río Grijalva, México* evaluaron la dinámica espaciotemporal en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, durante el período 1984-2008, para estimar la

distribución de la vegetación arbórea y los humedales. Estas coberturas se seleccionaron por estar sujetas a mayor presión ambiental debido al crecimiento urbano. A partir de ello se construyó un escenario prolectivo hacia el 2030, basado en cadenas de Markov y autómatas celulares. El análisis multitemporal se realizó con el modelador de cambio de uso del suelo (Land Change Modeler for Ecological Sustainability) y el módulo CrossTab del software IDRISI Selva®, generando una matriz de tabulación cruzada. Las matrices resultantes se validaron con el estadístico Kappa (K) = 0.8963 (1984-2000) y Kappa (K) = 0.9033 (2000-2008), cercanas a 1.0000, generando un análisis confiable de la dinámica espacial.

El análisis del cambio de uso del suelo demuestra que Villahermosa se está expandiendo de forma incontrolable ante un desarrollo sostenible deficiente. De ser una ciudad compacta se transformó en un perímetro sectorial y después en una urbe fragmentada, lo cual es común en las ciudades latinoamericanas (Bähr & Borsdorf, 2005, citados en Palomeque *et al.*, 2017). La ciudad muestra un patrón de crecimiento asociado con la industrialización, reglamentos de uso del suelo, economía regional, movimientos de población, demanda de productos agrícolas y su entorno político, factores que dan control total al sector inmobiliario y los procesos socioculturales (Kolb *et al.*, 2013; Linard, Tatem, & Gilbert, 2013, citados en Palomeque *et al.*, 2017). La tendencia de cambio de uso del suelo en la Ciudad de Villahermosa coincide con diversas investigaciones, sobre todo con aquellas relacionadas con la sustitución de las coberturas vegetación arbórea y humedales por pastizal y uso urbano; sin embargo, se detectan superficies y tasas de cambios diferentes debido a los períodos de análisis, métodos de evaluación y escalas de trabajo. Velázquez *et al.* (2002 citados en Palomeque *et al.*, 2017) señalaron que los enfoques empleados para el análisis del cambio de uso del suelo no son homogéneos y, en consecuencia, los resultados de las investigaciones son diferentes en categorías de mapeo y escalas de trabajo.

El modelador del cambio de uso del suelo, las cadenas de Markov y los autómatas celulares detectaron con precisión la distribución de las coberturas naturales y usos artificiales, las probabilidades y la proyección espacial del cambio para el año 2030, generando información útil para la planificación ambiental de la ciudad de Villahermosa. La prospectiva indica que la pérdida de recursos naturales, y en particular de humedales, seguirá de modo progresivo hasta superar más de mil hectáreas, si no hay un cambio significativo en el paradigma o un programa de ordenamiento del uso del suelo.

En el estudio *Cambio de uso del suelo en la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Reserva Cuxcal, Mérida Yucatán, México*, elaborado por García, Aguilar, Flores & Fernández (2020) se hace un análisis temporal para determinar los cambios ocurridos en la cobertura ocupada por selva baja caducifolia, vegetación secundaria herbácea, arbustiva y arbórea durante el período de 1995 a 2015. El análisis temporal incluyó la interpretación manual de tipos de vegetación y uso del suelo

a partir de fotografías aéreas (1995), ortofotos (INEGI, 2005) e imagen satelital SENTINEL (2015). El procesamiento de datos se hizo con los programas QGIS 2.18® y ARCGIS 10.6®, a partir de los cuales se obtuvieron mapas del sur del municipio de Mérida y de la Reserva Cuxtal. Con los cálculos de superficies de las categorías se obtuvieron tasas de cambio de la vegetación y usos del suelo. A partir de ello, se concluye que la reserva ha perdido cobertura vegetal a causa de la expansión urbana, los cambios en la infraestructura, los servicios e irregularidades en materia de construcción de obra civil y los desarrollos habitacionales. En 20 años, la pérdida de cobertura forestal en la Reserva Cuxtal es significativa.

Todas las actividades que implican pérdida de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo tienen un impacto sobre la reserva y su biota. Aún existen relictos de vegetación que suman tres mil hectáreas de selva baja caducifolia que han cambiado a vegetación en estado de recuperación, de menos de diez años. Es necesario que las políticas públicas urbanas y los instrumentos de planeación y regulación de los usos del suelo consideren la normativa vigente, ya que la Reserva Cuxtal es la fuente hídrica más importante para la zona metropolitana de Mérida, toda vez que posee una cobertura vegetal que contribuye a la conservación de la biodiversidad regional e incluye poblaciones en situación vulnerable.

Estudios de cambio de uso del suelo internacionales

El estudio *Cambio de cobertura del suelo/cambio de uso del suelo y Servicios Ecosistémicos de Provisión en China*, elaborado por Song, Deng, Song & Xiangsheng (2017) es un modelo preciso de la aplicación del análisis y explicación de los procesos de cambio de uso del suelo hacia la valoración de los servicios ecosistémicos, en específico, los de provisión. Investigaciones diversas señalan que los cambios de cobertura y uso del suelo han afectado de forma significativa los servicios ecosistémicos en todo el mundo (Polasky *et al.*, 2011, citado en Song *et al.*, 2017).

Mediante el uso de mapas escala 1:100,000, herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), la reclasificación de categorías para el análisis en el territorio de China, y con el sustento teórico de múltiples artículos científicos, se determina que los procesos de cambio de uso del suelo afectan a los servicios ecosistémicos. En China, una gran cantidad de tierras cultivadas en pendientes pronunciadas fue devuelta —en un proceso de conversión— a áreas con bosques y pastizales. Los datos obtenidos demuestran que los servicios ecosistémicos registraron decrementos en los tres períodos de análisis (1988, 2000, 2008), aunque los datos del país asiático son más modestos que los registrados a nivel global.

A nivel global, la conversión de pastizales, bosques y humedales a tierras de cultivo y áreas destinadas a la urbanización ha resultado en incrementos significativos de la producción de alimentos, madera y vivienda, mientras se reducen los servicios

ecosistémicos (Balvanera *et al.*, 2006; Metzger *et al.*, 2006; Lawler *et al.*, 2014; Nahuelhual *et al.*, 2014, citados en Song *et al.*, 2017). En China las influencias de la recuperación de tierras cultivadas y la urbanización han sido considerables.

Aguayo, Pauchard, Azócar & Parra (2009) realizaron el trabajo titulado *Cambio de uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo xx. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje* para determinar los procesos de cambio ocurridos en los años 1979 y 2000. Mediante el uso de imágenes de satélite Landsat, y con el método de clasificación supervisada, se hizo el procesamiento de las imágenes satelitales para seleccionar las áreas representativas de cada cobertura del suelo y obtener su valor espectral. Como complemento, fueron utilizadas fotografías aéreas digitales escala 1:115,000 e imágenes de alta resolución de la plataforma Google Earth (<http://earth.google.com>). Para clasificar las imágenes y hacer el análisis de los cambios se utilizaron los softwares IDRISI 14.02 (Clark University, Worcester, Massachusetts, USA) y ArcGIS 9.0 (ESRI, Redlands, California, USA). Los autores determinaron que los cambios ocurridos en el área están asociados con la expansión de las plantaciones forestales sobre terrenos agrícolas, matorrales y bosque nativo a una tasa anual del 10.5 %, cifra superior a las tasas de forestación.

Evaluación y monitoreo de la degradación del suelo durante el cambio de uso del suelo mediante análisis multivariado. Este trabajo fue elaborado por Khaledian, Kiani, Ebrahimi, Brevik & Aitkenhead (2016) y tuvo la finalidad de investigar el efecto del cambio de uso del suelo sobre la calidad de este, en ambientes desérticos afectados por el desarrollo agrícola y la urbanización. Para realizar dicho trabajo fue seleccionada la cuenca hidrográfica de Ziarat (Irán), esto en virtud de que la deforestación y el cultivo en las laderas comenzó hace cincuenta años aproximadamente, y las afectaciones son significativas. En este estudio se establecieron asociaciones de influencia entre el cambio de uso del suelo y su efecto en la degradación de tierras cultivadas, pastizales y suelos de uso urbano, estableciendo comparaciones con bosques nativos para conocer la calidad y fertilidad del suelo.

Con métodos estadísticos multivariados, que incluyen el análisis de los principales componentes y análisis de conglomerados, se determina la magnitud de las influencias antropogénicas y naturales sobre la calidad del suelo. Los mínimos cuadrados parciales, la regresión de componentes principales, la regresión de mínimos cuadrados ordinarios y análisis de regresión gradual fueron útiles para predecir la capacidad de intercambio catiónico del suelo —parámetros influyentes de la calidad del suelo—. El módulo Land Change Modeler for Ecological Sustainability y el módulo Cross Tab del Software IDRIS Selva fueron útiles para el procesamiento de datos y calcular las tasas de cambio.

El *Análisis espacial de cambios de usos del suelo en la Cuenca del Río Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina, en el período 1990–2010*, realizado por Huma-

cata, Lara, Beltrán & Cantarelo (2019) es una propuesta conceptual-metodológica enfocada en la elaboración de un diagnóstico de la dinámica de usos del suelo de la cuenca del Río Luján, a partir de un análisis de la evolución pasada para predecir configuraciones espaciales futuras. Se recurrió al análisis histórico y prospectivo de usos del suelo para generar conocimientos a nivel espacial en una escala urbano-regional. El diagnóstico se realizó con herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), esto a través de datos cartográficos y numéricos para la detección de los procesos de cambios de usos del suelo. La investigación tuvo como objetivo elaborar cartografía de coberturas y usos del suelo como insumo para la posterior aplicación de la metodología de detección de cambios, a partir de la tabulación cruzada. Este trabajo representa un modelo significativo de la geografía aplicada.

Los contextos socioculturales de comunidades indígenas de América Latina no están exentos de estudios de cambios de uso del suelo. En este sentido, Olivares, López & Lobo (2019), a nivel de escala local, realizaron la investigación titulada: *Cambios de uso del suelo y vegetación en la comunidad agraria Kashaama, Anzoátegui, Venezuela: 2001 – 2013* teniendo como objetivo principal el análisis de la evolución del uso de suelo y la vegetación, en la comunidad indígena Kashaama de Venezuela. La degradación de suelos en la zona conlleva agudos problemas sociales y económicos, como la pérdida de rentabilidad vinculada a la degradación de los recursos naturales. Esto presenta un escenario adverso a los agricultores de las comunidades indígenas, quienes se ven obligados a migrar por el desempleo y por la improductividad de las tierras. Por otro lado, los agricultores que permanecen frente a predios agropecuarios con cierta degradación enfrentan la carencia de alimentos.

Los cambios en el uso del suelo y vegetación que soporta la tierra son cada vez más relevantes para poder comprender los elementos de roce entre las comunidades agrícolas y los ecosistemas terrestres que les sirven de soporte. En este estudio se utilizaron imágenes digitales derivadas de un espectroradiómetro para imágenes de resolución moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS) que contienen información sobre las diferentes coberturas de uso de la tierra y vegetación, para los años 2001 y 2013. La comunidad indígena estudiada presenta un proceso significativo de modificación y eliminación de la cobertura vegetal a usos antrópicos del suelo, poniendo en riesgo los bienes y servicios ecosistémicos para la población.

En la indagación de la comunidad venezolana se utilizó un producto enfocado al estudio de las cubiertas terrestres (MODLAND), cuyos resultados fueron obtenidos con el satélite Terra. El producto MCD12Q1 es una imagen digital que contiene información sobre las diferentes coberturas de uso de suelo y vegetación, proporcionada por el sensor MODIS, que brinda información con base en dife-

rentes sistemas clasificatorios. Este producto es la combinación de datos de dos plataformas de MODIS (TERRA y AQUA). El producto final está basado en una clasificación supervisada y la distribución en áreas de entrenamiento. El procesamiento se realizó con el *software* de Sistema de Información Geográfica IDRISI.

Con el módulo *extract* se obtuvieron los valores estadísticos descriptivos de cada uso de suelo y vegetación para cada año de estudio. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo para determinar los cambios que ocurrieron, comparando ambos años. En este proceso se utilizó el *Land Change Modeler*, integrado en el SIG. El análisis del uso de suelo y vegetación muestra que la mayor tasa de cambio negativa se presentó en el matorral, mientras que la categoría de mosaicos de cultivos y vegetación natural presenta una mayor tasa de cambio positiva que el resto de las categorías.

A nivel regional —en las zonas agrícolas indígenas de Anzoátegui— los cambios de uso y cobertura podrían provocar modificaciones en los ciclos hídricos, y alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación, favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución en el secuestro de bióxido de carbono y la pérdida de hábitats y biodiversidad local de los llanos orientales venezolanos. La disminución de la cobertura vegetal tiene implicaciones que inciden en la disponibilidad y calidad de los bienes y servicios ambientales que ofrecen estas tierras.

La agricultura, en esta comunidad indígena, es valorada por la dinámica compleja de las relaciones agroproductivas y socioeconómicas cotidianas, así como por su función transcendental en la producción de alimentos y diversos servicios ecosistémicos de interés común. Los participantes de esta investigación lograron identificar problemas que no pueden solucionar por sí mismos y reconocieron la necesidad de recurrir al poder institucional para hallar posibles soluciones, promoviendo y consolidando así la integración entre diferentes grupos de la comunidad, el trabajo conjunto con instituciones externas a ella, y la participación de todos los grupos comunitarios.

Capítulo IV

Estudio de caso

Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, México

En este capítulo se presenta un estudio específico de caso en el cual se intenta aplicar fundamentos teóricos para dar una explicación a los procesos de cambio de uso de suelo, el uso de insumos, materiales y modelos para representar gráficamente los procesos y asociar los resultados obtenidos en campo con las cuestiones teóricas utilizadas. Este estudio de caso fue seleccionado por las peculiaridades geográficas y socioculturales del Ejido Agua Bendita, ubicado en el Municipio de Amanalco, Estado de México.

En las últimas décadas, debido al desarrollo de programas ambientales organizados por el gobierno, los ecosistemas forestales no sólo se conservan, sino que también se aprovechan de modo sustentable. Los ejidatarios de Amanalco, Estado de México han sido beneficiados con tres programas: “Manejo Forestal Comunitario”, “Plantaciones Forestales Comerciales” y el “Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos” (CONAFOR, 2008; PROBOSQUE, 2008, 2010). Aún con la implementación de estos programas, resaltan los problemas ambientales por atender, siendo relevantes: la tala clandestina, los incendios forestales, el pastoreo sin control y el crecimiento de la frontera agrícola en áreas con vocación forestal. Estos problemas ocasionan cambios en las coberturas vegetales y usos del suelo, por lo que es importante que las autoridades responsables de la conservación y manejo de los recursos forestales, en colaboración con los especialistas en el área, se esfuercen para diseñar estrategias que coadyuven a la restauración de los ecosistemas forestales del municipio de Amanalco (García, 2015; Camacho, *et al.*, 2015).

Descripción general del Ejido Agua Bendita

El Ejido Agua Bendita está ubicado en la porción oeste del Estado de México, en el contexto geográfico del municipio de Amanalco (Mapa 1). Se localiza entre las coordenadas geográficas 19° 17' 07" y 19° 13' 25" latitud norte y 99° 58' 35" y 99° 55' 22" longitud oeste. Los lugares de este espacio geográfico presentan diversas

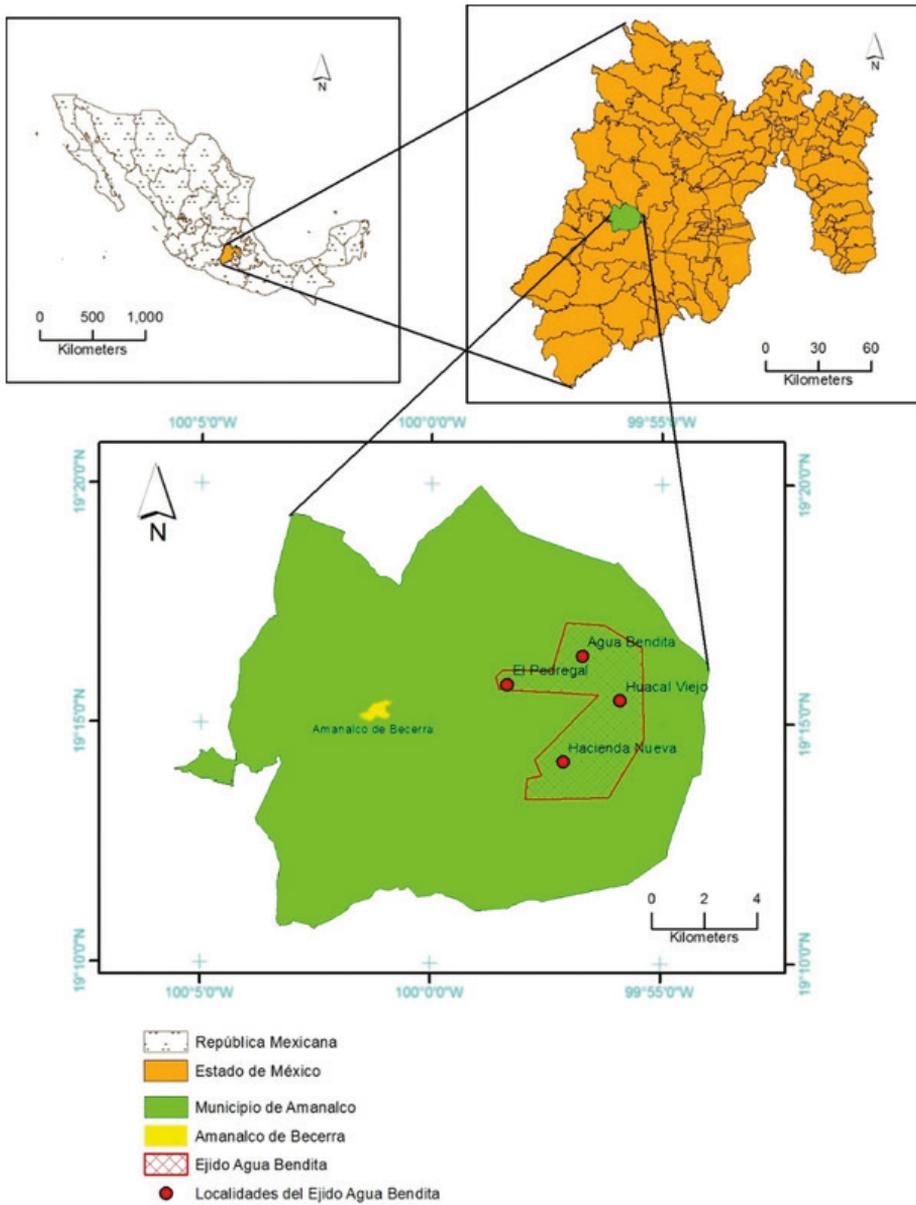
variaciones altitudinales: la mayor altitud es de 3,350 metros sobre el nivel del mar (msnm), mientras la menor es de 2,600 msnm.

Las colindancias de la comunidad son las siguientes: al norte limita con los ejidos de El Potrero y El Capulín; al sur tiene límites con el Ejido San Bartolo y el Ejido Amanalco; al oriente limita con los ejidos San Bartolo y El Capulín; en la porción poniente, tiene colindancias con los ejidos San Lucas y Rincón de Guadalupe, todos ellos pertenecientes al Municipio de Amanalco. El ejido está integrado por cuatro comunidades rurales, las cuales se localizan al oriente de la Cabecera Municipal de Amanalco de Becerra y del propio municipio (mapa 1).

El espacio geográfico que comprende la superficie ejidal está delimitado por la poligonal utilizada en el Programa de Manejo Forestal para el Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables (PMFARFM, Nivel Avanzado). La poligonal fue elaborada mediante recorridos por todos los límites ejidales y el registro de puntos de control para obtener las coordenadas geográficas. En esta actividad fue utilizado el equipo de medición de precisión Diferencial Global Positioning System (DGPS), con precisión de ± 30 cm. Con base en la información consultada en el Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA) del Registro Agrario Nacional (RAN), el Ejido Agua Bendita tiene una superficie de 2,218.56 hectáreas (ha), sin embargo, la poligonal del predio delimitada para este trabajo comprende sólo 2,193.29 ha.

La poligonal del terreno considerada en este libro corresponde a la que utiliza el PMFARFM (Nivel Avanzado), vigente desde el año 2008 y autorizada por el Organismo Público Descentralizado Protectora de Bosques del Gobierno del Estado de México (PROBOSQUE, 2008).

Mapa 1. Localización del Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México, en el contexto de la República Mexicana



Fuente: García (2015) y trabajo de campo, 2019.

En términos fisiográficos, la superficie del ejido está ubicada entre la subprovincia de Mil Cumbres y la subprovincia de Lagos y volcanes de Anáhuac, ambas pertenecientes a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico (Sierra Volcánica Transversal), ubicada sobre el paralelo 19° latitud norte, que inicia en la porción oriental —en las costas del Golfo de México— y termina en la porción occidental. Además, se caracteriza por atravesar todo el territorio mexicano (INEGI, 2001). La porción oriente del ejido forma parte de la Subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac, mientras la occidental corresponde a la subprovincia de Mil Cumbres (Mapa 2).

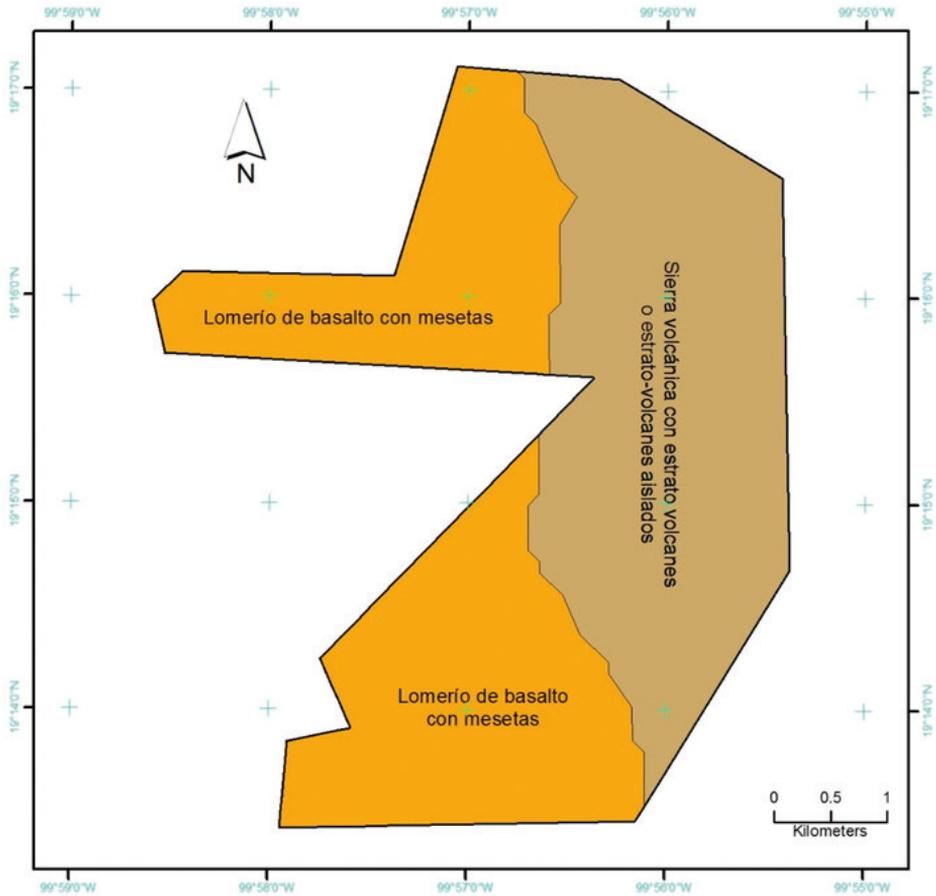
La Subprovincia Mil Cumbres es una región heterogénea —de complejidad ambiental— por la diversidad de sus geoformas que descienden hacia el sur. Además, está integrada por sierras volcánicas complejas, producto de sus antiguos aparatos volcánicos, mesetas lávicas escalonadas y lomeríos basálticos. En el ejido, el sistema de topoformas corresponde a lomeríos de basalto con mesetas. La subprovincia Lagos y volcanes de Anáhuac está constituida por sierras volcánicas o aparatos individuales (Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Xinantécatl y Matlalcuéyetl, Pico de Orizaba y Cofre de Perote), alternados con amplios vasos lacustres. El sistema de topoformas en el ejido está asociado con sierras volcánicas, y contiene materiales andesíticos y laderas escarpadas (INEGI, 2001).

La superficie ejidal se caracteriza por la presencia de diversas geoformas: cimas, laderas altas y laderas medias, las cuales están asociadas con las estribaciones del volcán Xinantécatl; asimismo, con las zonas de piedemonte alto y piedemonte medio, todas constituidas por diversos materiales, principalmente derrames de lava andesítico-basáltica y suelos de tipo andosol húmico.

Las condiciones topográficas del ejido se caracterizan por la exposición¹ de los terrenos hacia el sur, suroeste y oeste (Mapa 3), expresada esta variable en distintos grados de pendiente, siendo dominante el rango que comprende de quince a treinta grados. Esto ha determinado una configuración de relieve accidentado que dificulta las prácticas agrícolas y el proceso de urbanización en la mayor parte de los terrenos ejidales. La configuración del terreno es compleja, presenta planicies y laderas, con predominancia de las segundas, las cuales están orientadas hacia el sur, condición que explica la presencia de oyamel (*Abies religiosa*), especie que se desarrolla de mejor manera en condiciones de baja exposición a la luz solar (García, 2015).

1 Caída de la pendiente del terreno con relación a los puntos cardinales.

Mapa 2. Ubicación del Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México, entre las subprovincias del Eje Neovolcánico



 Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México

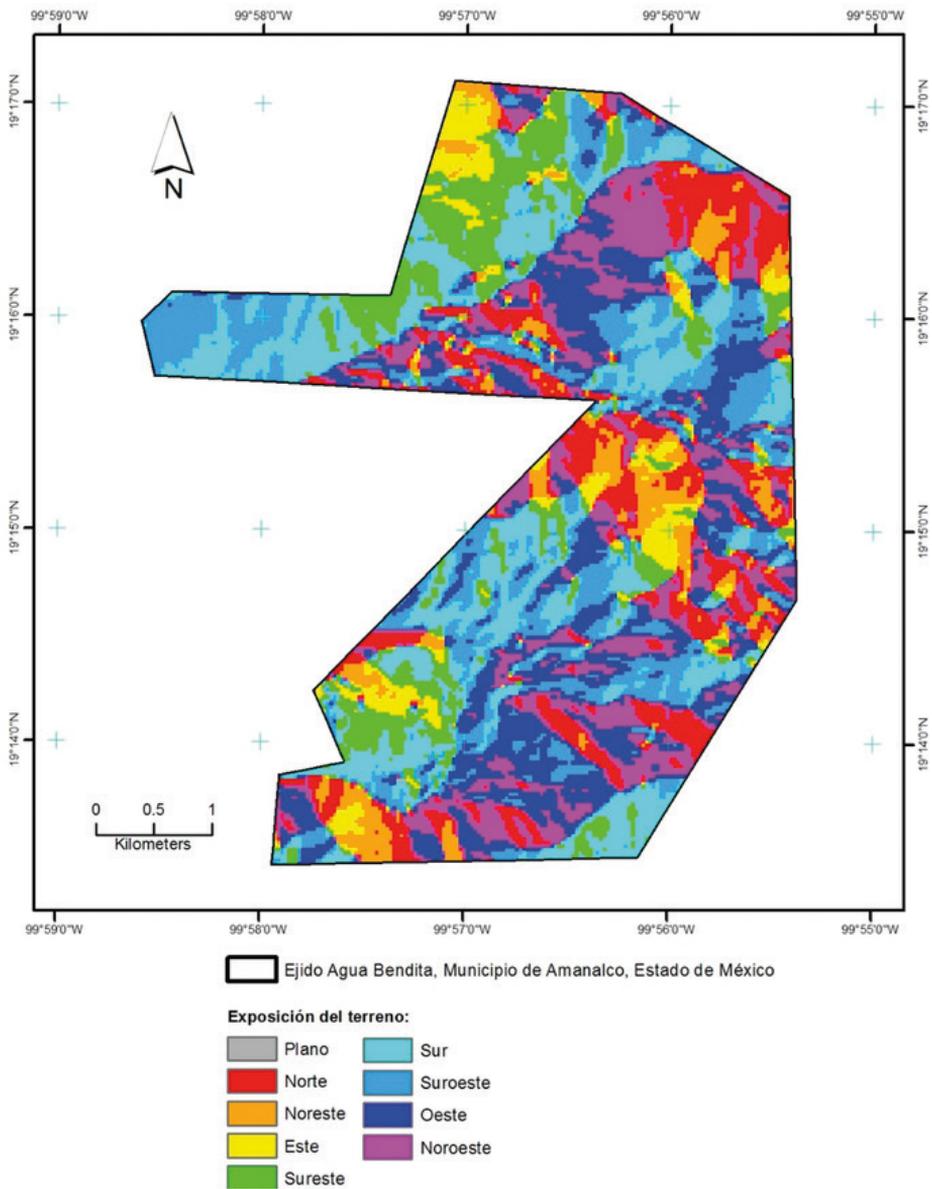
Provincia del Eje Neovolcánico:

 Subprovincia Lagos y volcanes de Anáhuac

 Subprovincia Mil Cumbres

Fuente: García (2015) y trabajo de campo, 2019.

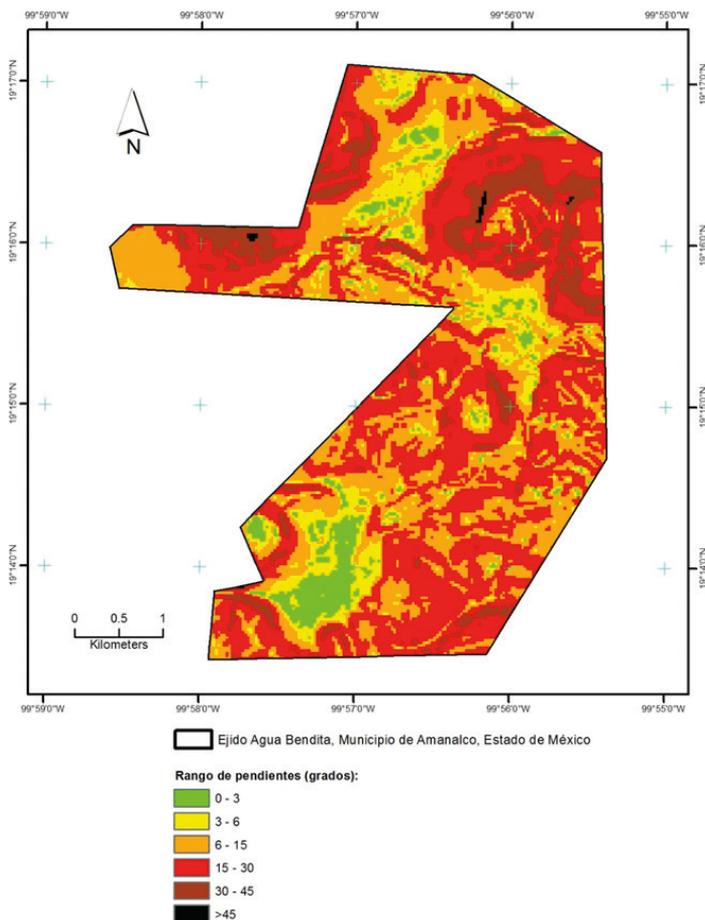
Mapa 3. Exposición del terreno en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013.



Fuente: García (2015) y trabajo de campo, 2019

En el ejido, la diversidad de geoformas influye en las pendientes del terreno y determina amplia heterogeneidad de los terrenos, situación vinculada con la ocupación de uso del suelo, los procesos de cambio de uso del suelo, las actividades agrícolas, la reconversión forestal y los impulsores de cambio. Por ejemplo, los asentamientos humanos y las áreas destinadas a las actividades agrícolas están ubicadas en terrenos casi planos, mientras los bosques de coníferas ocupan terrenos con pendientes mayores a quince grados (Mapa 4).

Mapa 4. Pendientes en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México.



Fuente: García (2015) y trabajo de campo (2019).

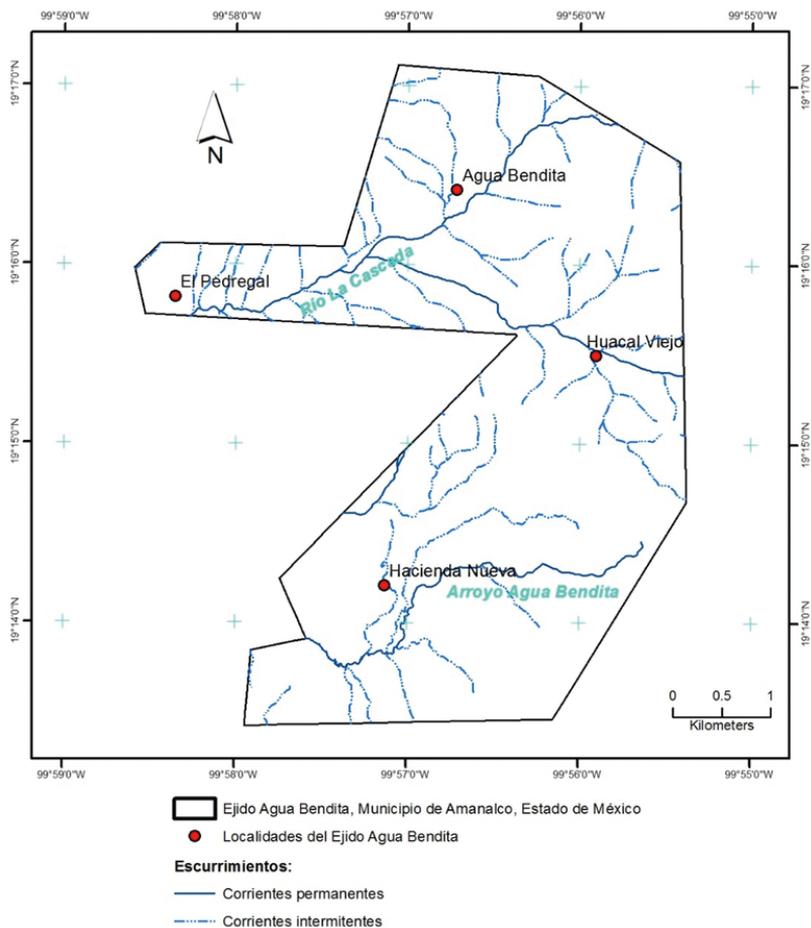
La interacción entre las condiciones geomorfológicas, topográficas, altitudinales y ecológicas coadyuvan en la presencia de un paisaje complejo —ambiental y sociocultural—, por lo cual los terrenos ejidales presentan peculiaridades geográficas que en asociación con las condiciones climáticas favorecen la existencia de varios ecosistemas. En el ejido hay dos tipos de clima: a) semifrío subhúmedo $C(E)(w_2)$ (w), el cual es propio de las zonas con mayores altitudes y es el más húmedo de los semifríos, con lluvias en verano y precipitación media anual mayor a 800 mm, y la temperatura media anual oscila entre 5 °C y 12 °C, y b) templado subhúmedo $C(w_2)(w)$, el cual predomina en las zonas de menores altitudes, es el más húmedo de los templados, con lluvias en verano y precipitación media anual mayor de 700 mm, la temperatura media anual oscila entre los 12 °C y 18 °C (INEGI, 2001).

El Ejido Agua Bendita se localiza en la Región Hidrológica 18, Balsas (RH-18), drenada por un conjunto de corrientes intermitentes y perennes como el río Balsas (INEGI, 2001). Con base en la Red Hidrográfica escala 1 50,000 edición 2.0 del INEGI², el ejido está ubicado en la subcuenca tributaria RH18Gg Río Tilostoc, la cual corresponde a la subcuenca RH18G-Río Cutzamala. El recurso hídrico de la subcuenca es utilizado para varios fines: abastecimiento de agua potable a nivel local y regional, generación de energía eléctrica, agricultura de riego, piscicultura, recreación, deportes, conservación de flora y fauna. En el territorio ejidal hay dos ríos importantes: río La Cascada y arroyo Agua Bendita, ambos se originan en las pendientes del Volcán Xinantecatl y son tributarios importantes del río Tilostoc (Mapa 5). El agua de estos ríos desempeña múltiples funciones: a) ambiental (recarga de acuíferos, generación de microclimas, servicios hidrológicos); b) ecológica (ecosistemas acuáticos, humedales y hábitat de especies); c) económica (cría de animales domésticos, piscicultura, recreación), d) agrícola (agricultura de riego), y e) social (recreación y esparcimiento) (García, 2015).

Los afluentes de la subcuenca alimentan al denominado Sistema Cutzamala, que abastece de agua a la zona metropolitana de la ciudad de Toluca, a los municipios del Estado de México conurbados a la Ciudad de México, y a la Zona Metropolitana del Valle de México. A nivel local, el río La Cascada transcurre cercano a un número importante de comunidades en los municipios de Amanalco y de Valle de Bravo, antes de desembocar en la Presa Valle de Bravo.

2 <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/Topografia/Descarga.aspx> (Fecha de consulta: Abril 01, 2013).

Mapa 5. Elementos hidrológicos. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México.



Fuente: García (2015) y trabajo de campo (2019).

Componentes biológicos: la vegetación

Las condiciones fisiográficas, climáticas, topográficas, hidrográficas y ambientales del territorio ejidal son factores importantes en cuanto a la presencia, distribución y diversidad de componentes bióticos de los ecosistemas, los que a su vez se asocian de manera importante con los rasgos socioculturales de las familias que habitan en el ejido. Los ecosistemas desempeñan múltiples funciones ambientales, ecológicas, económicas y socioculturales, ya que proveen de condiciones propicias

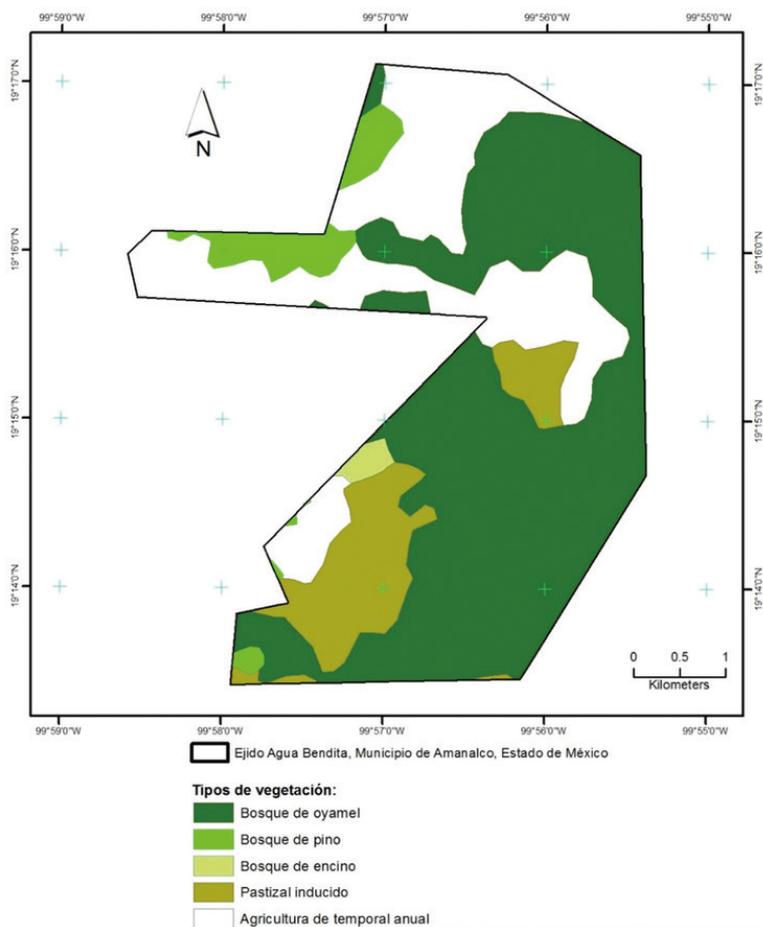
para las familias. Algunas especies de fauna, plantas y otros organismos silvestres, estacional o esporádicamente son utilizados para complementar la alimentación familiar: conejo silvestre (*Sylvilagus sp.*), codorniz (*Columbina sp.*), tortolita (*Zenaidura macroura*), hongos comestibles³ y té de monte; o bien, constituyen elementos esenciales de su cultura. Del ecosistema extraen recursos que son parte fundamental de la vivienda tradicional del campo y del quehacer cotidiano, destacando el uso de piezas de madera para la construcción de viviendas, cercos y herramientas agrícolas (García, 2015).

Las condiciones biogeográficas —es decir, la ubicación del ejido entre dos subprovincias fisiográficas— en asociación con peculiaridades geomorfológicas y topográficas, favorecen la existencia de diversos ecosistemas; específicamente, bosques de coníferas (INEGI, 2001) constituidos por bosques de oyamel (*Abies religiosa*), bosques de pino (*Pinus spp.*) y bosques de encino (*Quercus spp.*) (Mapa 6).

El bosque de oyamel. Los bosques de oyamel (*Abies religiosa*) prosperan en altitudes ubicadas entre 2,800 msnm y 3,500 msnm, en suelos de origen andesítico, basáltico o riolítico generalmente profundos, aunque también en suelos someros con presencia de capas delgadas de cenizas volcánicas, ricos en materia orgánica y, sobre todo, en los horizontes superficiales, en climas cuya temperatura media oscila entre 7 y 15 °C, con precipitaciones anuales superiores a 1,000 mm. Uno de los usos más importantes de esta especie es el tradicional “árbol de Navidad”, cuyas ramas también son utilizadas para confeccionar adornos en ceremonias religiosas (función ornamental y ceremonial). La madera aserrada se utiliza en la fabricación de cajas, puertas, marcos y techos interiores, fabricación de postes para líneas de transmisión de energía eléctrica, cercos de postes de madera y mangos para herramientas, incluso tiene usos industriales, ya que por su color claro, peso ligero, ausencia de manchas, de resina y de olor, se recomienda en la fabricación de empaques para alimentos. Otro uso de la madera es la fabricación de papel. La trementina, conocida en el contexto local con el nombre de “aceite de palo” o “aceite de abeto”, es recomendada para usos medicinales. La corteza de árboles viejos, incluso, es aprovechada para hacer carbón (SIRE-CONABIO, sin fecha).

3 Estacionalmente existen en el bosque del ejido una diversidad de hongos, cuyos nombres locales son: “hongos de ocote”, “clavitos” y “tecomates”, “orejas blancas”, “tejamaniles”, “enchiladas”, “palomitas”, “panzas”, “cemitas”, “gachupines”, “gachupines negros”, “orejas azules” y “orejas coloradas”. Los hongos son muy apreciados en la dieta de las familias del ejido. Los recolectores poseen conocimiento tradicional. Conocen la temporada y lugar —parajes— donde crecen, y las características de cada variedad de hongos (color, forma, olor y textura), lo que les permite diferenciarlos de los hongos alucinógenos y venenosos —“hongos locos”— (Trabajo de campo, 2013, 2014).

Mapa 6. Tipos de vegetación. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México.



Fuente: García (2015) y trabajo de campo (2019).

El bosque de oyamel desempeña funciones ecológicas y ambientales. Al respecto, Miranda (2008) señala que la característica principal del oyamel es concentrar cierta cantidad de agua, y que, en relación con los demás árboles y arbustos, traslada una mayor cantidad del líquido vital y de aire al bosque, por la altura que alcanza. Refiere que, a mayor talla y edad del árbol, mayor es la cantidad de agua que almacena: "un árbol de cuarenta años junta más o menos tres botes de agua de veinte litros cada uno". Asimismo, relaciona la presencia de musgo en los bosques de oyamel con las

condiciones de alta humedad que prevalecen en ese tipo de bosques, pues la concentración de humedad es un factor ambiental que favorece el desarrollo del musgo.

En el Ejido Agua Bendita, la madera proveniente del aprovechamiento del oyamel, una vez que ha sido transformada en las industrias de aserrío situadas en la misma comunidad, es destinada prácticamente por completo al ramo de la construcción —polines, viguetas y piezas para cimbra—, cuyos centros de demanda son Valle de Bravo, Toluca, la Ciudad de México y algunas ciudades del estado de Guerrero (García, 2015).

Las funciones ecológicas y ambientales del oyamel también prevalecen en el ejido, ya que la porción localizada en el área natural protegida “Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca”, tiene una superficie considerable de bosque en el que la especie principal es *Abies religiosa*, con el consecuente beneficio hidrológico-ambiental que esto conlleva. Como una actividad productiva y beneficio adicional, cada año, previo a la temporada navideña, los ejidatarios gestionan ante la SEMARNAT la autorización correspondiente para el aprovechamiento del musgo (*Polytrichum sp.*) que se extrae en el bosque de oyamel (García, 2015).

Bosque de pino. El tipo de pino predominante en el ejido es *Pinus pseudostrobus* (pino lacio), que prospera en espacios ubicados entre 2,400 msnm y 2,800 msnm, pero también en laderas de montaña con altitudes entre 1,600 msnm y 3,200 msnm. Crece y se desarrolla en suelos andosoles, profundos, con capas de humus, en ambientes con temperatura media de 14.7 °C y precipitación entre 1,000 y 1,300 mm anuales. Es cultivado en los estados del centro y sur de México. La madera se usa en aserrío, con la cual se fabrica triplay, chapa, cajas de empaque, molduras para ventanas, muebles finos, artesanías, ebanistería y pulpa para papel. Produce resina, la cual es utilizada para varios fines. Esta especie es recomendable para plantaciones comerciales, usos ornamentales en campos deportivos, parques y jardines, debido a que su follaje genera aroma a resina (SIRE-CONABIO, sin fecha, citado en García, 2015). Dicha especie está presente en el ejido, principalmente en espacios ocupados con bosques de coníferas, ya sea en asociación con oyamel o con especies latifoliadas de aile (*Alnus firmifolia*) (Trabajo de campo, 2013, 2015, 2019).

Bosque de pino teocote. Este bosque (*Pinus teocote*) crece y se desarrolla en terrenos con amplio rango de altitudes —de 1,500 msnm y 3,100 msnm—, aunque prospera con mayor éxito en lugares de 2,400 msnm. Se adapta a distintos rangos de temperatura, sobre todo en sitios con temperaturas promedio de 14 °C, y con precipitación media anual de 1,000 mm. Esta especie de conífera prospera en suelos limosos y arcillosos y con buen drenaje, aunque también crece y se desarrolla en suelos secos y rocosos. La madera de este árbol es utilizada en la construcción, fabricación de postes y para leña. La resina es extraída con fines comerciales (Dvorak & Donahue, 1992; SIRE-CONABIO, sin fecha, citado en García, 2015).

Las coníferas *Pinus pseudostrabus* y *Pinus teocote* desempeñan funciones ambientales importantes, son utilizadas en programas de restauración de suelos deteriorados y reforestación. La producción de madera de ambas especies es importante. Por ello, en el ejido, con frecuencia se realizan plantaciones con fines comerciales. El *Pinus pseudostrabus*, cohabita con *Abies religiosa*. El *Pinus teocote* se asocia con especies de *Quercus crassipes* (encino), *Quercus laurina* (encino laurel) y *Quercus rugosa* (roble), y con especies de *Arbutus glandulosa* (madroño), *Alnus firmifolia* (aile) y *Ternstroemia pringlei* (trompillo). Estas tres últimas latifoliadas tienen mínimo valor comercial, sin embargo, constituyen parte importante de los ecosistemas de bosque de pino-encino y de pino-otras hojosas (funciones ecológicas y ambientales), pues protegen al suelo de procesos erosivos y contribuyen a la recarga de acuíferos (García, 2015).

Las especies de encinos (*Quercus spp.*) son importantes en los ecosistemas debido a su capacidad para integrar una extensa y compleja red de interacciones con hongos, bacterias, insectos y plantas epífitas —es decir, orquídeas y helechos— (Oyama, 2010). La madera de encino es utilizada para hacer carbón, leña, fabricación de muebles, mangos para herramientas agrícolas e instrumentos musicales. En el ejido, estas especies son poco aprovechadas⁴ bajo un régimen de manejo persistente⁵, ya que, de acuerdo con el Programa de Manejo Forestal para el Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables (Nivel Avanzado), en la porción noroeste y oeste del territorio, en donde se localizan en mayor proporción las especies de latifoliadas, estas se encuentran en receso de aprovechamiento, al igual que el *Pinus teocote* (García, 2015).

En el ejido, la vegetación arbórea predominante es bosque de coníferas y bosque de latifoliadas, complementada con vegetación herbácea y vegetación arbustiva. En los bosques abunda un estrato adicional de vegetación herbácea —estrato bajo—, asociado a los árboles, y, en ocasiones, un estrato arbustivo —estrato medio—. En estos estratos —sotobosque— existen especies vegetales importantes que los habi-

4 A partir del año 2008 y hasta el 2017, el ejido dispone de una autorización de aprovechamiento maderable por un volumen total máximo de 11,959 m³ vta (volumen total árbol) de oyamel, 14,664 m³ vta de pino, 922 m³ vta de aile, y 24 m³ vta de encino; razón por la cual se refiere que el volumen autorizado para latifoliadas —aile y encino— es mínimo, en comparación con el pino y oyamel, lo que en parte obedece a que son especies menos abundantes.

5 Por régimen de manejo persistente se entiende que, del volumen total autorizado para cada especie, cada año es posible extraer una proporción de dicho volumen; esto, con sustento en lo establecido en el plan de cortas incluido en el PMFARFM (Nivel Avanzado) del Ejido Agua Bendita —éste es el documento técnico que rige el aprovechamiento—. En el mismo se especifica que dentro de un período de diez años se podrá extraer un máximo de 922 m³ vta de aile y 24 m³ vta de encino. Los ejidatarios eventualmente recolectan con fines de uso doméstico un volumen adicional de madera de estas especies, proveniente de arbolado seco disperso en el bosque, del cual suelen obtener leña, postes y otras piezas para la construcción.

tantes locales utilizan como parte de sus usos y costumbres (cultura del pueblo Otomí), además de la función ecológica y ambiental que desempeñan, tal como la vara de perilla (*Symphoricarpos microphyllus*), que es utilizada con fines ornamentales, y otras herbáceas para la preparación de infusiones —té de monte— y para condimentar alimentos (García, 2015). El sotobosque es el área de un bosque que crece por debajo del dosel arbóreo, y consiste en una mezcla de árboles en estado juvenil que alcanzarán un porte alto —y en consecuencia en un momento dado configurarán parte del dosel superior—, árboles de porte bajo —cuyo ciclo de vida lo pueden desarrollar bajo condiciones de sombra—, arbustos y hierbas.

De acuerdo con la vegetación arbórea predominante en el Ejido Agua Bendita, es pertinente establecer una asociación entre las condiciones espaciales, altitudinales, topográficas y climáticas; y, como se observa en el Mapa 6, en la porción oriental predominan bosques de oyamel, característica vinculada con la presencia de clima semifrío. Por su parte, en la porción occidental, hay abundancia de bosques de pino, lo cual tiene estrecha relación con el clima templado. Esta peculiaridad de la vegetación es influida por las condiciones referidas y por la ubicación del ejido en el contexto biogeográfico (ubicación entre dos subprovincias).

Componentes biológicos: la fauna

La ubicación biogeográfica del municipio de Amanalco, y por consiguiente del Ejido Agua Bendita, entre dos subprovincias de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, y la interacción con las condiciones altitudinales, topográficas, climáticas, ecológicas y florísticas influyen en la abundancia y distribución de especies animales, situación favorecida por el Programa de Manejo Forestal para el Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables (Nivel Avanzado) (García, 2015). En los ambientes naturales de los bosques aún existen especies representativas de los principales grupos de animales:

En el grupo de mamíferos son notorias las ardillas (*Sciurus sp.*), cacomixtles (*Bassariscus astutus*), conejos (*Sylvilagus sp.*), coyotes (*Canis latrans*), tlacuaches (*Didelphis virginiana*), murciélagos (*Artibeus sp.*), zorrillos (*Mephitis macroura*), zorras (*Urocyon cinereoargenteus*), tejones (*Nasua sp.*), hurones (*Mustela sp.*), tuzas (*Geomys sp.*) y ratones (*Peromyscus sp.*) (García, 2015).

En el grupo de los reptiles, la víbora de cascabel (*Crotalus triseriatus*) es la especie más representativa del grupo y tiene como hábitat los espacios naturales y alejados de los asentamientos humanos. Asimismo, abundan diversas especies de culebras (*Thamnophis sp.*), coralillos (*Micrurus nigrocinctus*), lagartijas (*Sceloporus sp.*) y escorpiones (*Barisia sp.*) (García, 2015).

El grupo de los anfibios está representado por diversas especies de ranas (*Lithobates sp.*), ajolotes (*Ambystoma sp.*), sapos (*Bufo bufo*) y salamandras (*Pseudoeurycea sp.*). Estas tienen como hábitat ambientes acuáticos, humedales y zonas húmedas (García, 2015).

Las especies pertenecientes al grupo de las aves son abundantes en el municipio y la región. Las más representativas son: gaviñancillo (*Accipiter sp.*), búho (*Bubo virginianus*), lechuza (*Athene cunicularia*), aguililla (*Buteo jamaicensis*), capulínero (*Ptilononyx cinereus*), cuitlacoche (*Toxostoma curvirostre*), colibrí (*Selasphorus platycercus*), correcaminos (*Geococcyx californianus*), cuervo (*Corvus corax*), petirrojo (*Turdus rufopalliatus*), codorniz (*Columbina sp.*), tortolita (*Zenaida macroura*), zanate (*Quiscalus mexicanus*), gorrión (*Carpodacus mexicanus*), mulato (*Melanotis caerulescens*), primavera (*Turdus migratorius*), cenzonle (*Mimus gilvus*), calandria (*Chlorospingus ophthalmicus*) y zopilote (*Coragyps atratus*). El hábitat de estos animales son diversas especies vegetales arbóreas y arbustivas, cultivos agrícolas y vegetación ornamental de las viviendas, lugares donde encuentran refugio y alimento (García, 2015).

El grupo de invertebrados está representado por ciempiés (*Lithobius sp.*), caracoles (*Babosus corasus*), avispas (*Polistes sp.*), escarabajos (*Phyllophaga sp.*), hormigas (*Solenopsis sp.*), arañas (*Loxocles sp.*), mariposa monarca (*Danaus plexippus*), alacranes (*Centruroides sp.*), abejas (*Apis mellifera*), libélulas (*Gomphus vulgatissimus*) y tarántulas (*Brachypelma sp.*) (García, 2015).

Como fauna introducida se tiene la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), la cual se encuentra en criaderos —piscifactorías—. La fauna doméstica está integrada por ovinos (*Ovis sp.*), porcinos (*Sus scrofa*), bovinos (*Bos taurus*), equinos (*Equus caballus*), y aves de corral; por ejemplo: gallinas (*Gallus gallus*), patos (*Anas platyrhynchos domesticus*) y guajolotes (*Meleagris gallopavo*) (García, 2015).

Algunas de las especies faunísticas son muy apreciadas por las familias campesinas y las familias pertenecientes al grupo originario —es decir, los otomíes—, siendo importantes el conejo (*Sylvilagus sp.*), la codorniz (*Columbina sp.*) y la tortolita (*Zenaida macroura*), ya que son un importante complemento alimenticio en determinadas épocas del año. En este sentido, destaca también el consumo de la trucha (*Oncorhynchus mykiss*).

De los recursos naturales existentes en el bosque, las familias obtienen productos comestibles para complementar su dieta. Las actividades agrícolas y la cría de animales domésticos, junto con la silvicultura y la industria forestal —aserraderos—

constituyen el sustento económico de las 1,065 personas que vivían en el ejido, en el año 2010 (INEGI, 2010b).

Componentes demográficos, económicos y culturales

El territorio del Ejido Agua Bendita está integrado por cuatro comunidades: Agua Bendita, Hacienda Nueva, Huacal Viejo y El Pedregal. Tiene una población total de mil sesenta y cinco habitantes, siendo Agua Bendita el asentamiento humano más poblado. Es mínima la diferencia entre el número de habitantes del género masculino y femenino (Cuadro 1) (INEGI, 2010a).

La diversidad cultural de México está asociada con la diversidad ambiental, pues el conocimiento y manejo de los componentes del ambiente representan la base de su subsistencia en el contexto de un mundo globalizado. La diversidad cultural se expresa en varias manifestaciones y rasgos, principalmente en las lenguas habladas por sesenta y ocho pueblos originarios (indígenas), ya que, en la actualidad, son habladas por siete millones de mexicanos.

En el municipio de Amanalco, y específicamente en el Ejido Agua Bendita, viven familias pertenecientes al grupo otomí, las cuales tienen un grado de marginación muy alto. Sus rasgos socioculturales, usos, costumbres y tradiciones les han permitido conservar la organización, unidad y cohesión social de sus comunidades, y, por supuesto, conservar su identidad cultural.

Para las familias otomíes la danza es un rasgo sociocultural importante, pues es considerada similar a una ofrenda; además, ofrecen rituales a los muertos. En la religión, el sistema de cargos (mayordomos, fiscales, cargueros, topiles, rezanderos, cantores) es importante en la vida cotidiana comunitaria. El complejo mágico-religioso es notorio en las ceremonias agrícolas, el tratamiento de enfermedades y síndromes de filiación cultural.

La mayoría de las familias que viven en los asentamientos humanos del ejido pertenecen al grupo otomí. Los pueblos indígenas son herederos, practicantes y conservadores de diversas culturas; saben relacionarse en armonía con la naturaleza, a la que respetan como fuente de alimento y altar de la coexistencia humana (https://edomex.gob.mx/indigenas_edomex). Estos grupos han conservado características sociales, culturales, económicas y políticas, que son distintas a las de las sociedades dominantes en las que viven (<https://www.un.org/development/desa/indigenous-peoples-es/historia.html>).

Las actividades humanas de las familias otomíes son en esencia agrícolas —agricultura de subsistencia—, cultivan maíz, frijol, calabaza, haba, trigo, avena, cebada, chile, y papa, complementándose con la cría de animales domésticos (bovinos, ovinos, porcinos, equinos, conejos, y diversas especies de aves; principalmente gallinas, guajolotes, patos) destinados al consumo familiar o para el comercio local (Cuadro 2)

(Consejo Estatal para el Desarrollo Integral de los Pueblos Indígenas, <http://www.historia-mexico.info/2011/11/los-otomies.html>). En la localidad Ejido Agua Bendita, el aprovechamiento forestal complementa la economía familiar (actividad que será analizada en capítulos posteriores). Una característica importante de las familias otomíes es su organización social para participar en las actividades humanas, religiosas, rituales, ceremoniales y ejidales, aspecto que se observa en las actividades de subsistencia en las que participan mujeres y hombres adultos, población adolescente, niños y niñas.

Cuadro 1. Población total. Comunidades del Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México

Localidad	Población total	Población masculina	Población femenina	Población de 0 a 14 años	Población de 15 a 64 años	Población de 65 años y más
Agua Bendita	594	283	311	189	371	34
Hacienda Nueva	68	35	33	23	39	6
Huacal Viejo	169	93	76	60	100	9
El Pedregal	234	116	118	85	139	10
Total	1,065	527	538	357	649	59

Fuente: INEGI (2010a).

Cuadro 2. Actividades humanas. Comunidades del Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México.

Localidad	Actividad principal	Segunda actividad	Tercera actividad
Agua Bendita	Agricultura	Aprovechamiento forestal	Insuficientemente especificado del sector transportes
Hacienda Nueva	Agricultura	Cría y explotación de animales	Cría y explotación de animales
Huacal Viejo	Agricultura	Agricultura	No especificado
El Pedregal	Agricultura	No especificado	No especificado

Fuente: INEGI (2010b).

Servicios públicos

En el ejido, los servicios públicos relacionados con la educación, salud, energía eléctrica, drenaje y vías de comunicación aún no satisfacen de manera absoluta las necesidades de las familias, pues, aunque el Programa de Manejo Forestal para el Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables (Nivel Avanzado) ha promovido y destinado una parte de los ingresos económicos a los servicios públicos, estos aún no existen en las cuatro comunidades que conforman el territorio ejidal. Como se observa en el Cuadro 3, la educación preescolar y primaria son ofertadas en las cuatro comunidades (100 %), la salud en dos (50 %), espacios para rituales y ceremonias religiosas en tres (75 %).

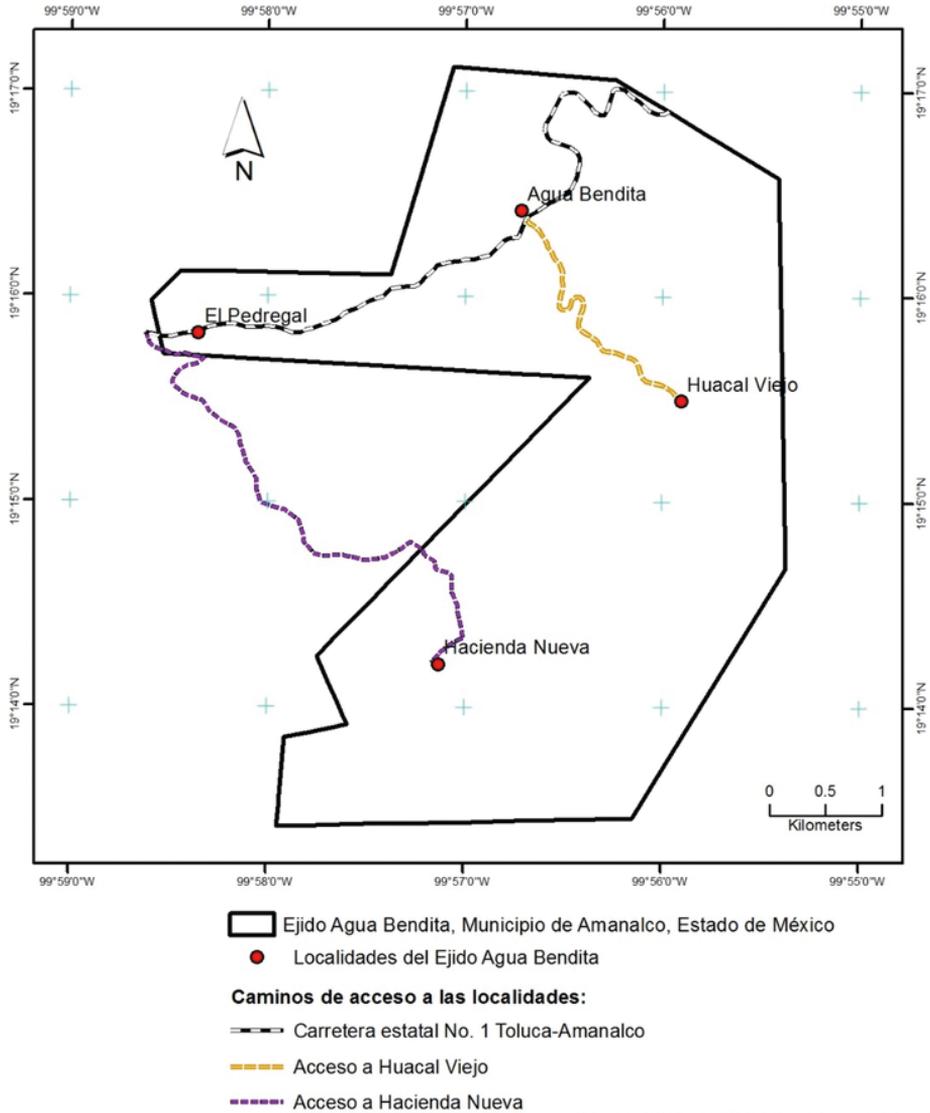
Cuadro 3. Servicios de salud, educación, religión y otros servicios. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México.

Localidad	Número de instalaciones							
	Centros de salud	Jardín de niños	Escuela primaria	Escuela telesecundaria	Escuela nivel medio superior	Templos/ Capillas	Mercado móvil (tianguis)	Panteón
Agua Bendita	1	1	1	1	1	1	1	1
Hacienda Nueva	0	1	1	0	0	1	0	0
Huacal Viejo	1	1	1	0	0	0	0	0
El Pedregal	0	1	1	0	0	1	0	0

Fuente: Trabajo de campo (2013).

En cuanto a las vías de comunicación, es notorio que sólo dos comunidades del ejido (Agua Bendita y El Pedregal) están comunicadas a través de la carretera Toluca-Amanalco, mientras las otras dos (Huacal Viejo y Hacienda Nueva) están comunicadas por medio del acondicionamiento —empedrado y concreto— de dos caminos vecinales (Mapa 7). Entre las comunidades existe interconexión, aunque el transporte público sólo es frecuente entre Agua Bendita y El Pedregal, situación favorecida por la carretera Toluca-Amanalco. El transporte a Huacal Viejo y Hacienda Nueva se realiza por medio de servicios de taxi o vehículos propios (García, 2015).

Mapa 7. Vías de comunicación. Localidades del Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México



Fuente: García (2015) y Trabajo de campo (2013, 2015, 2019).

Generadores de cambio

Una de las características importantes de un ecosistema son los cambios que ocurren en su estructura y su funcionamiento. Desde luego, estos cambios pueden ser provocados por factores naturales o inducidos por la sociedad humana. A estos factores se les denomina “generadores de cambio”, los cuales pueden ser directos e indirectos. Un referente de generador directo de cambio es el cambio de hábitat, el cual influye en los procesos ecológicos que ocurren en el ecosistema. Un ejemplo de generador de cambio indirecto es de la demografía; este actúa de modo más difuso, alterando a los generadores de cambio directos. Los generadores de cambio que afectan a los servicios de los ecosistemas —y, desde luego, al bienestar humano— ocurren a nivel local; además, son multicausales, interactivos, y pueden manifestarse en el momento o a largo plazo, situación que provoca complejidad en su análisis, evaluación y gestión (<http://www.greenfacts.org/es/ecosistemas/evaluacion-milenio-2/4-factores-cambio.htm>).

Los generadores de cambio indirectos que influyen en los ecosistemas, sus servicios y funciones son: a) el cambio en la población —incluye el crecimiento y la emigración—, b) el cambio en la actividad económica —al incrementarse los ingresos per cápita se incrementa la demanda de servicios de los ecosistemas—, c) los factores sociopolíticos —incremento en el número de convenios medioambientales multilaterales—, d) los factores socioculturales y religiosos —diferente percepción de las sociedades hacia el mundo, la naturaleza y el comportamiento de consumo—, e) la ciencia y la tecnología —mayor producción de alimentos por hectárea, degradación de los servicios de los ecosistemas y disminución de las reservas de recursos naturales—.

Otros ejemplos de generadores de cambio directos son la alteración del hábitat, el cambio climático, las especies invasoras, las plagas y enfermedades forestales, la sobreexplotación de los recursos naturales y la contaminación ambiental. La mayoría de los generadores de cambio directos que modifican los ecosistemas y la biodiversidad permanecen constantes o están intensificándose en la mayoría de los ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos.

En las últimas décadas, los generadores de cambio directos en los ecosistemas están vinculados con las actividades humanas, los procesos de cambio de uso del suelo, la participación social positiva o negativa, los incendios forestales, los programas de manejo forestal, entre otros. En el ejido, el cambio más notable es la reconversión forestal —establecimiento de plantaciones con fines comerciales y ambientales en terrenos que en años anteriores eran utilizados en la agricultura—.

La participación social de los habitantes del ejido impacta al ambiente tanto positiva como negativamente. En el primer caso, es significativo cuando las familias intervienen en aplicación de técnicas y obras para la conservación del suelo y

agua, o participan en campañas de plantación, control y combate de incendios y control de plagas y enfermedades forestales. Las acciones que provocan impactos ambientales negativos están relacionadas con la disposición inadecuada de residuos sólidos contaminantes, cambios de uso de suelo no autorizados, producción de incendios y uso indiscriminado de agroquímicos. Estos factores generan presión sobre los recursos naturales y afectaciones ambientales (trabajo de campo, 2013, 2015, 2019).

Las familias ejidatarias —en especial, las que participan en el Programa de Manejo Forestal para el Aprovechamiento de Recursos Forestales Maderables (Nivel Avanzado)— valoran los recursos forestales existentes en su entorno. En las escuelas se fomenta la cultura forestal y concientización del cuidado de los componentes ambientales. Los recursos económicos obtenidos del aprovechamiento forestal maderable son utilizados para varios fines: salarios a las personas que participan de forma directa en las actividades del programa, mantenimiento y acondicionamiento de las instalaciones educativas, de salud, religiosas, sistema de agua potable, vías de comunicación, el cementerio ejidal, mantenimiento del concreto de las calles, pintura en las fachadas de las viviendas y organización de eventos sociales y ceremoniales (García, 2015).

A pesar de los beneficios directos y servicios comunitarios que proporciona el PMFARFM (Nivel Avanzado), las comunidades del ejido presentan un grado de marginación alto. Esto indica que la apertura de caminos, el mejoramiento de la infraestructura vial, el acondicionamiento y equipamiento escolar y de los servicios de salud, el mantenimiento del cementerio ejidal y de las capillas, se hace a nivel comunitario; sin embargo, las estadísticas registradas a nivel familiar demuestran algunas carencias en las condiciones de vida y, por consiguiente, son limitantes para el desarrollo humano (Cuadro 4). Huacal Viejo es la comunidad con mayor grado de marginación, lo cual es evidente en las condiciones de las viviendas. Una situación similar se presenta en Hacienda Nueva, donde los servicios educativos no satisfacen todas las necesidades de las familias (García, 2015).

Como resumen de este capítulo se enuncia lo siguiente: entre los componentes geográficos, ambientales, demográficos, económicos y socioculturales existen interacciones que influyen, condicionan o determinan la continuidad de los procesos ecológicos y el desarrollo humano de las comunidades del ejido, siendo un elemento clave la organización social familiar del grupo originario otomí. Desde luego, existen factores que de manera directa e indirecta obstaculizan el desarrollo humano de las comunidades, siendo significativo el caso de la práctica de actividades humanas no sustentables, procesos de cambio de uso de suelo sin autorización y generación de impactos ambientales. El alto grado de marginación de las localidades del ejido representa un factor limitante para fomentar el desarrollo local sustentable.

Cuadro 4. Indicadores socioeconómicos, índice y grado de marginación. Localidades del Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México, 2010⁶

Localidad	VPA	P15An	P15SPC	VPHSE	VPHSEE	VPHSAE	POC	VPDCPT	VPHSR	IM	GM	IM 0a100	LCN	LCE
Agua Bendita	152	10.86	33.08	11.84	3.97	1.99	1.24	1.99	53.95	-0.6477	Alto	9.5099	75,854	2,763
Hacienda Nueva	16	24.44	46.67	12.50	0.00	6.25	1.55	0.00	81.25	-0.1145	Alto	13.7427	49,267	1,390
Huacal Viejo	39	25.69	62.62	28.21	12.82	5.13	1.55	10.26	92.31	0.3634	Alto	17.5371	31,585	567
El Pedregal	50	9.40	42.28	28.00	10.00	4.00	1.57	6.00	70.00	-0.2222	Alto	12.8877	54,049	1,618

Fuente: CONAPO (2010b).

6 VPA: Viviendas particulares habitadas

P15An: % población de 15 años o más analfabeta

P15SPC: % población de 15 años o más sin primaria completa

VPHSE: % viviendas particulares habitadas sin excusado

VPHSEE: % viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica

VPHSAE: % viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada

POC: Promedio de ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas

VPDCPT: % viviendas particulares habitadas con piso de tierra

VPHSR: % viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador

IM: Índice de marginación

GM: Grado de marginación

IM 0a100: Índice de marginación escala 0 a 100

LCN: Lugar que ocupa en el contexto nacional

LCE: Lugar que ocupa en el contexto estatal

Capítulo V

Resultados del estudio de caso

Secuencia teórica y metodológica

El estudio de caso se sustentó en el registro de observaciones realizadas en las zonas del Ejido Agua Bendita. Las actividades se realizaron en tres dimensiones: trabajo de gabinete, trabajo de campo y aplicación de geotecnologías. Las actividades realizadas en cada una de las fases no son independientes, sino complementarias entre sí; ya que, mientras los datos registrados en campo fueron esenciales para conocer de manera directa y real los procesos de cambio de uso del suelo y de grado de cobertura arbolada en el ejido, las consideraciones teóricas permitieron explicar cómo este proceso está vinculado a situaciones ecológicas, sociales, económicas y socioculturales.

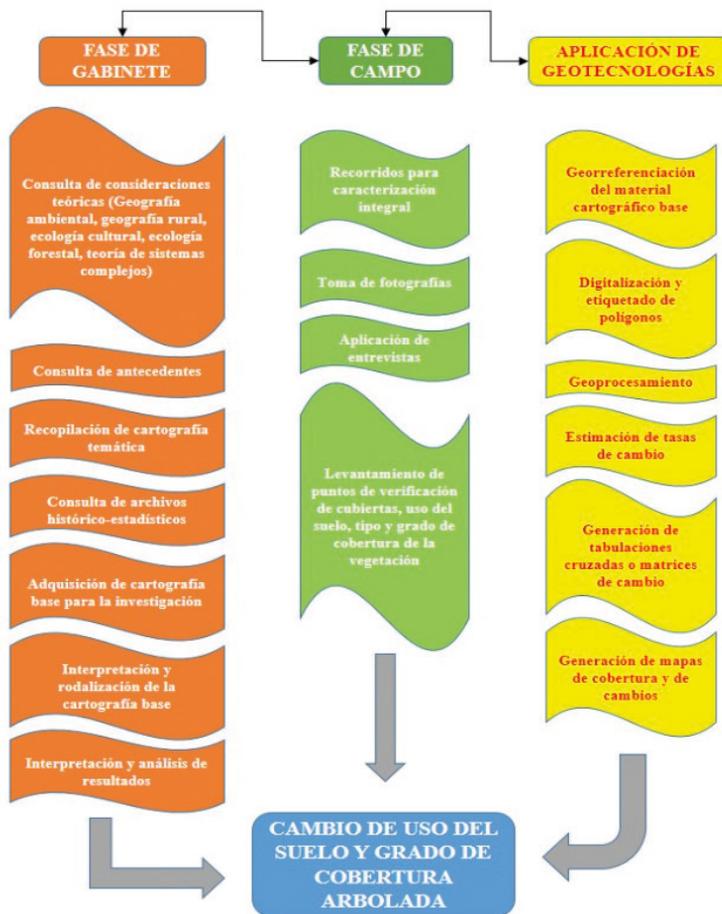
El propósito de seleccionar al Ejido Agua Bendita como referente de investigación se debe a sus peculiaridades geográficas y socioculturales, y, al mismo tiempo, se pretendía demostrar que en los estudios de cambio de uso del suelo no es suficiente hacer el análisis de los cambios utilizando un único modelo o método, sino que es necesario aplicar más de dos. Lo anterior se debe a que, con frecuencia, los resultados obtenidos deben tener respaldo técnico y metodológico. Enseguida, se exponen los métodos, técnicas, modelos e insumos utilizados en el caso de estudio referido. Por supuesto, se presentan desde una dimensión general, pues se trata de demostrar la importancia y beneficios de su utilización.

Recopilación, análisis e interpretación de información. Esta actividad permitió ubicar el objeto de estudio en el contexto de la geografía ambiental, geografía rural, ecología forestal, ecología cultural y la teoría de sistemas complejos. Con estos fundamentos teóricos se establecieron relaciones entre el entorno, la sociedad, la cultura, los procesos de cambio de uso del suelo, el grado de cobertura y los impactos. Desde esta dimensión, se procuró comprender la interacción de los factores que influyen en los procesos. En el siguiente diagrama (Figura 1) se representa la secuencia metodológica y las actividades más relevantes.

Recopilación del material cartográfico. La cartografía temática fue recopilada del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la Secre-

taría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y la Protectora de Bosques del Gobierno del Estado de México (PROBOSQUE). Las fotografías aéreas se adquirieron en el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Gobierno del Estado de México (IGECEM). La imagen de satélite fue adquirida en la empresa Imágenes Geográficas S.A. de C. V. Con estos materiales se realizó la caracterización del ejido y la elaboración de mapas de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada de los años 1989 y 2012 (García, 2015).

Figura 1. Diagrama de secuencia teórica y metodológica



Fuente: García (2015).

Registro y recopilación de información en campo. Las actividades de esta fase se realizaron en las zonas que integran el Ejido Agua Bendita; esto, con la finalidad de conocer los componentes ambientales que integran el sistema. Durante los recorridos en campo se verificaron los datos obtenidos en las actividades de gabinete, con el objetivo de validar la información base del análisis comparativo de cambio de uso del suelo y de grado de cobertura arbolada. En esta actividad se utilizó el Differential Global Positioning System (DGPS) y la cámara fotográfica, gracias a los cuales fue posible el registro de coordenadas y toma de fotografías. También fueron realizadas treinta y ocho entrevistas a ejidatarios y habitantes originarios de las localidades que conforman el ejido, mayores de cuarenta años, con nociones de los procesos de cambio de uso del suelo ocurridos entre los años 1989 y 2012.

Descripción de métodos y técnicas. Después de haber asociado las consideraciones teóricas con la información cartográfica y de campo, se realizó la caracterización integral del territorio. En esta actividad se asociaron los fundamentos teóricos con las condiciones de los componentes ambientales. Asimismo, fue integrada la leyenda de las categorías de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada, actividad necesaria para la generación, análisis e interpretación de los resultados. En el Cuadro 5 se muestran las cubiertas del terreno para el análisis del cambio de uso del suelo y de grado de cobertura arbolada, así como su descripción respectiva.

Cuadro 5. Cubiertas del terreno para análisis del cambio de uso del suelo y de grado de cobertura arbolada. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México, 2013

Cubierta del terreno	Descripción
Bosque de oyamel-pino alto abierto	Corresponde a un bosque donde el pino y el oyamel son las especies principales, con dominancia del oyamel. El rango de altura de la vegetación es superior a los 30 m. La cobertura de copas es del 10 al 50 %.
Bosque de oyamel-pino alto cerrado	El pino y el oyamel son las especies principales, con dominancia del oyamel. El rango de altura de la vegetación es superior a los 30 m. La cobertura de copas es mayor al 50 %.
Bosque de pino-oyamel alto abierto	El pino y el oyamel son las especies principales, con dominancia del pino. El rango de altura de la vegetación es superior a los 30 m. La cobertura de copas es del 10 al 50 %.
Bosque de pino-oyamel alto cerrado	Bosque donde el pino y el oyamel son las especies principales, con dominancia del pino. El rango de altura de la vegetación es superior a 30 m. La cobertura de copas es mayor al 50 %.

Bosque de pino-otras latifoliadas alto abierto	Es un bosque donde el pino y otras especies de latifoliadas son las principales, con dominancia del pino. El rango de altura de la vegetación es superior a 30 m. La cobertura de copas es del 10 al 50 %.
Bosque de pino-otras latifoliadas alto cerrado	El pino y otras especies de latifoliadas son las principales, con dominancia del pino. El rango de altura de la vegetación es superior a 30 m. La cobertura de copas es mayor al 50 %.
Bosque de pino-encino mediano abierto	En este bosque el pino y el encino son las especies principales, con dominancia del pino. El rango de altura de la vegetación es de 15 a 30 m. La cobertura de copas es del 10 al 50 %.
Bosque de pino-encino mediano cerrado	Masa arbórea donde el pino y el encino son las especies principales, con dominancia del pino. El rango de altura de la vegetación es de 15 a 30 m. La cobertura de copas es mayor al 50 %.
Bosque de pino alto abierto	Agrupación boscosa donde el pino es la especie dominante. El rango de altura de la vegetación es superior a 30 m. La cobertura de copas es del 10 al 50 %.
Bosque de pino alto cerrado	Se refiere al bosque donde el pino es la especie dominante. El rango de altura de la vegetación es superior a 30 m. La cobertura de copas es mayor al 50 %.
Bosque de encino-pino perennifolio mediano abierto	En este bosque el pino y el encino son las especies principales, con dominancia del encino; el rango de altura de la vegetación es de 15 a 30 m, y la cobertura de copas es del 10 al 50 %.
Bosque de encino-pino perennifolio mediano cerrado	Formación boscosa en que el pino y el encino son las especies principales, con dominancia del encino. El rango de altura de la vegetación es de 15 a 30 m. La cobertura de copas es mayor al 50 %.
Bosque cultivado con monocultivo	Bosque que se establece mediante la plantación de especies arbóreas realizada por el hombre, sobre todo en áreas que presentan perturbaciones por las actividades humanas o que en años anteriores tenían una cubierta distinta. Pueden considerarse como bosques artificiales y tener fin recreativo, ornamental, forestal, conservacionista, restaurador o multipropósito.
Otras tierras	Espacio geográfico con superficie menor a 0.50 hectáreas, generalmente cubierto con árboles o arbustos.
Pastizal bajo cerrado	Tipo de vegetación caracterizado por la dominancia de pastos o zacates, de origen natural, cultivado o inducido por el hombre. El rango de altura de la vegetación es menor a 0.50 m. La cobertura del terreno es mayor al 50 %.

Zonas urbanas y asentamientos humanos	Superficie ocupada por zonas urbanas y asentamientos humanos. Zona donde existe un agrupamiento de construcciones permanentes con una traza urbana definida, corresponde a asentamientos regulares. Los asentamientos humanos son zonas de crecimiento fuera de la traza urbana que, aunque presentan una traza definida, no están identificados como parte del área urbana de la localidad. El usuario es quien define el propio polígono.
Agricultura de riego y/o temporal con cultivo anual	Comprende superficies destinadas a los cultivos agrícolas anuales, de riego o de temporal.
Vegetación secundaria arbustiva abierta	Asociación de vegetación caracterizada por la dominancia de arbustos que constituyen un estado sucesional de la vegetación. Muestra indicios de que ha sido eliminada o perturbada a un grado de modificación sustancial. El rango de altura es menor a 4 m. La cobertura del terreno es del 10 al 50 %.
Vegetación secundaria arbustiva cerrada	Comunidad vegetal caracterizada por la dominancia de arbustos que constituyen un estado sucesional de la vegetación. Muestra indicios de que ha sido eliminada o perturbada a un grado de modificación sustancial. El rango de altura es menor a 4 m. La cobertura del terreno es mayor al 50 %.

Fuente: GEM-García (2008), INEGI (2002, 2009). Adaptada al espacio del Ejido Agua Bendita, Amanalco, Estado de México.

La caracterización del Ejido Agua Bendita y la generación de la leyenda de las categorías de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada se realizaron con la técnica de observación. Higuera (2003), refiere que la observación consiste en dirigir la atención hacia un objeto con alguna finalidad, y que el análisis geográfico, puede realizarse en tres modalidades: observación directa o sensorial, observación indirecta o instrumental y observación documental o diferida. La observación directa se aplicó durante los recorridos de campo por el territorio ejidal, la observación diferida se logró mediante las entrevistas aplicadas a los habitantes locales, y, al final, la observación indirecta se hizo con el apoyo del material cartográfico: fotografías aéreas pancromáticas digitales a escala 1:20,500 para la ventana de tiempo del año 1989, adquiridas en el IGCEM, y una imagen de satélite de alta resolución para la ventana de tiempo del año 2012. En el Cuadro 6 se describen las características de los materiales.

Cuadro 6. Características del material cartográfico

Ventana de tiempo	Material cartográfico	Formato	Fecha de vuelo/Toma de la escena	Escala/ Resolución	Id. del producto
Año 1989	Fotografías aéreas pancromáticas	Digital	Marzo y abril de 1989	1: 20,500	Fotografías No. 12, 13 y 14 de la línea de vuelo 10. Fotografías No. 11, 12 y 13 de la línea de vuelo 13
Año 2012	Imagen satelital PAN + MS de alta resolución (GeoEye)	Digital	27 de abril de 2012	0.5 m en PAN y 2.00 m en MS	2012042717231921603 0316 08424 (1161918)

Fuente: Elaboración propia con base en el análisis de los materiales.

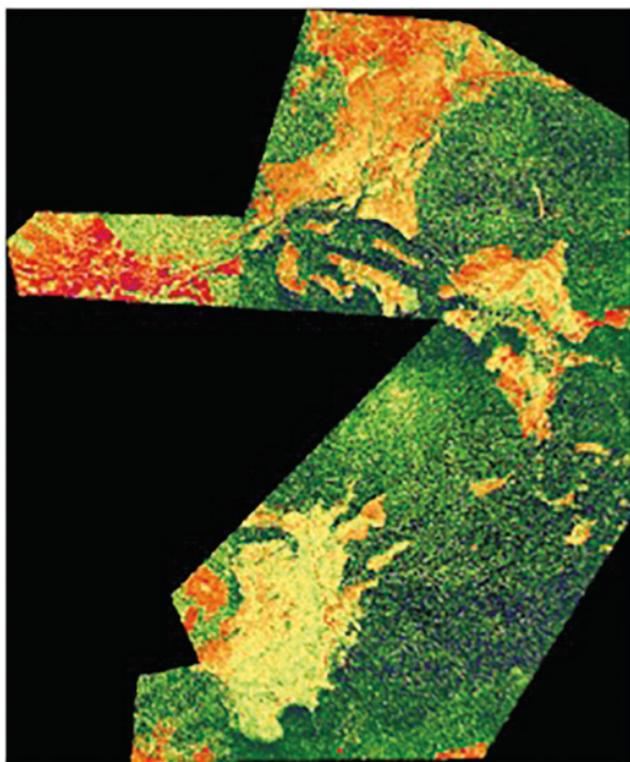
El material cartográfico, la imagen de satélite y las fotografías aéreas fueron referenciadas en términos geográficos. Con las fotografías aéreas se construyó un mosaico de la superficie ejidal, utilizando tanto en la georreferenciación como en la creación del mosaico el *software* ERDAS Imagine 2011. La delimitación del espacio geográfico ejidal se realizó con los límites establecidos en los mapas de vegetación y uso del suelo del PMFARFM (Nivel Avanzado), elaborados por el Gobierno del Estado de México (1995) y GEM-García (2008). Para resaltar algunas características de los objetos visualizados en el mosaico de fotografías, a este le fue aplicado un falso color, exportándolo al formato de imagen del *software* IDRISI Selva. Enseguida, el mosaico fue reconvertido a formato de imagen compatible con el *software* ArcGis 10 (Figura 2), el cual se utilizó para generar los mapas de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada para los años de análisis. En la Figura 2 se observa que la gama de falsos colores casi se aproxima a los colores reales de las cubiertas del terreno, similares a los colores de los bosques, las zonas con arbustos, pastizales y las áreas agrícolas.

De acuerdo con Bocco *et al.*, (2000); Bocco, Velázquez & Torres (2000); Bocco, Mendoza & Velázquez (2001), previo a la integración de la leyenda de categorías o clases de coberturas del terreno y de uso del suelo, fue necesario realizar la interpretación de la cartografía del territorio. Después de haber georreferenciado la cartografía, se procedió a la interpretación, digitalización y definición de las categorías de análisis, lo cual se hizo con ArcMap del *software* ArcGis 10. La interpretación de las imágenes de satélite se realizó de forma visual, utilizando claves estándar de fotointerpretación monoscópica (tono, color, patrón, textura, tamaño,

forma, emplazamiento), obteniendo como producto los mapas preliminares de uso del suelo y de grado de cobertura arbolada para los años 1989 y 2012.

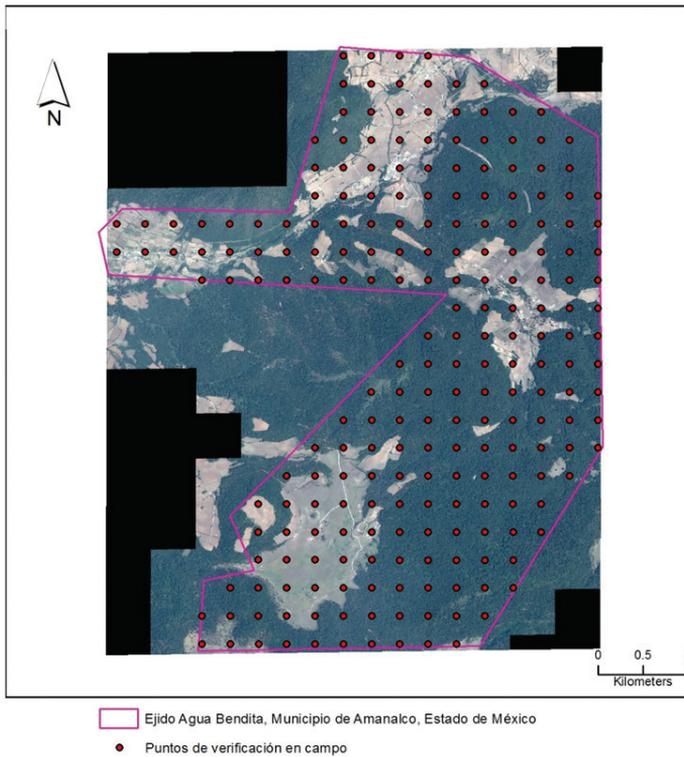
El mapa de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada del año 2012, generado a partir de la imagen de satélite, fue posteriormente corregido mediante verdad de campo, obtenida en reconocimientos del terreno a través de levantamiento de puntos de verificación —se hizo un registro de 226 puntos de control—, distribuidos de modo sistemático a una distancia de 316 m entre cada uno (Figura 3). Los puntos fueron verificados entre octubre de 2011 y junio de 2013, haciendo registros de tipo de cubierta del terreno, uso actual del suelo, y altura del estrato arbóreo y grado de cobertura de la vegetación —la altura del estrato arbóreo y el grado de cobertura de la vegetación fueron cuantificados sólo cuando el punto de verificación estaba ubicado en un área con vegetación forestal—.

Figura 2. Imagen en falso color, generada con fotografías aéreas digitales. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México



Fuente: García (2015).

Figura 3. Distribución de puntos de verificación en campo. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México



Fuente: García (2015).

Con relación al mapa preliminar del año 1989, los usos de suelo y el grado de cobertura arbolada se validaron mediante los mapas elaborados por el Gobierno del Estado de México (GEM, 1995) y por GEM-García (2008), ya que es la cartografía disponible y más próxima al año 1989. En ellos se enfatiza la delimitación e identificación de los usos de suelo y tipos de bosque que caracterizan a los terrenos forestales del ejido. En este caso fueron importantes los datos recopilados a partir de la bibliografía y la cartografía temática disponible, esto sustentado en lo que señalan Bocco *et al.*, (2000) y Bocco *et al.*, (2001) y los datos obtenidos de las treinta y ocho entrevistas aplicadas a los habitantes que tienen conocimiento histórico sobre los procesos de cambio de uso del suelo ocurridos en el Ejido Agua Bendita. Con las entrevistas se obtuvieron datos de los procesos del cambio de uso del suelo, aprovechamientos forestales, participación

en la utilización de recursos forestales con fines de uso doméstico o para venta, actividades de reforestación, prevención y combate de incendios, ocurrencia de incendios y plagas forestales, obtención de ingresos económicos por cuidado y aprovechamiento de los bosques, actividades económicas realizadas en 1989 y 2012, y fuente de obtención de alimentos.

El grado de cobertura arbolada fue estimado desde un enfoque cualitativo, con base en el INEGI (2009). De esta forma, para las categorías donde fueron incluidos los distintos tipos de bosque, esta variable fue ubicada en la sección de bosques con cobertura abierta, bosques con cobertura cerrada o bosques con cobertura dispersa. En las fotografías 1 y 2 se muestran los casos de cobertura de copa abierta y cobertura de copa cerrada visualizadas en campo.

Considerando la resolución obtenida en el mosaico de fotografías (0.35 m) y en la imagen satelital (0.50 m), fue posible realizar la digitalización a una escala de 1:1,000, obteniendo unidades mínimas cartografiables de 0.01 ha (100 m²) (mayor detalle de información). La superficie de la unidad mínima cartografiable en esta investigación resultó significativamente inferior a la obtenida en el Sistema de Información de la Cobertura de la Tierra (SICT) del INEGI (2009), donde a una escala de trabajo de 1:50,000 fueron generadas unidades mínimas cartografiables de 6.25 ha. Cada mapa final de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada contiene un conjunto de polígonos etiquetados con su correspondiente categoría de uso de suelo, a partir de las cuales se integró la *Leyenda de cubierta del terreno, uso del suelo, tipo y grado de cobertura de la vegetación*, basada en el SICT del INEGI (2009), denominada *Clases del sistema de clasificación de cobertura de tierras*.

Fotografía 1. Cobertura de copa abierta en un bosque de pino-oyamel. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013



Fuente: García (2015).

Fotografía 2. Cobertura de copa cerrada en un bosque de oyamel-pino. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013



Fuente: García (2015).

Antes de la edición final, los mapas fueron sometidos a un proceso de verificación del etiquetamiento y corrección de polígonos y categorías de la leyenda (Cuadro 7). Para realizar el análisis con distintos enfoques o grados de profundidad, las categorías señaladas en el Cuadro 1, cuya cubierta estaba relacionada con algún tipo de vegetación, fueron sometidas a dos procesos de reclasificación¹, obteniendo las clases de categorías de cubierta del terreno que se indican en el Cuadro 7. De acuerdo con Bocco *et al.* (2000), después de haberse generado los mapas definitivos de cobertura del terreno y uso del suelo para los años 1989 y 2012, se realizó la sobreposición y geoprocetamiento a través del *software* ArcGis 10, mediante su aplicación ArcMap. De esta manera, se identificaron las zonas de intersección en cada mapa y para cada categoría, obteniéndose una matriz de cambios de “*n*” “*m*” clases, donde “*n*” y “*m*” son, respectivamente, el número de categorías mapeadas para cada año. Se obtuvieron tablas con tasas de cambio, tabulaciones cruzadas, mapas de cambio de uso del suelo y del grado de cobertura de la vegetación. La tasa de cambio (Tc%) fue calculada con la siguiente relación:

$$Tc\% = \frac{(\text{Superficie del año 2012} - \text{Superficie del año 1989})}{\text{Superficie del año 1989}} \times 100$$

1 El primer proceso de reclasificación agrupa a los tipos de vegetación de acuerdo con su forma biológica: FA (Forestal arbolado) incluye a la vegetación con forma arbórea, mientras que FNA (Forestal no arbolado) considera a la vegetación arbustiva y pastizales. Las categorías definidas en el segundo proceso son similares a las indicadas en la categoría *Uso del suelo, tipo y grado de cobertura de la vegetación*, con la diferencia de que en la reclasificación se omite el grado de cobertura de la vegetación y su altura. La categoría *Plantaciones Forestales o Bosque Cultivado con Monocultivo* no se reclasificó, debido a que se equipara con un cultivo agrícola multianual.

Cuadro 7. Leyenda de cubierta del terreno, uso del suelo, tipo y grado de cobertura de la vegetación. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013

Cubierta del terreno		Equivalencia con las clases de cobertura del SICT (INEGI)	Primer nivel de reclasificación		Segundo nivel de reclasificación	
Categoría: <i>Uso del suelo, tipo y grado de cobertura de la vegetación</i>	Clave		Categoría: <i>Cubierta del terreno y uso del suelo</i>	Clave	Categoría: <i>Uso del suelo y tipos de vegetación</i>	Clave
Bosque de oyamel-pino alto abierto	BA/PAA	No determinada	Forestal arbolado	FA	Bosque de oyamel-pino	Ap
Bosque de oyamel-pino alto cerrado	BA/PAC	No determinada				
Bosque de pino alto abierto	BPAa	Bosque de pino alto abierto			Bosque de pino	P
Bosque de pino alto cerrado	BPAC	Bosque de pino alto cerrado				
Bosque de pino-oyamel alto abierto	BP/AAa	No determinada			Bosque de pino-oyamel	Pa
Bosque de pino-oyamel alto cerrado	BP/AAC	No determinada				
Bosque de pino-otras latifoliadas alto abierto	BP/HAA	No determinada			Bosque de pino-otras latifoliadas	Ph
Bosque de pino-otras latifoliadas alto cerrado	BP/HAC	No determinada				
Bosque de pino-encino mediano abierto	BP/QMa	No determinada			Bosque de pino-encino	Pq
Bosque de pino-encino mediano cerrado	BP/QMc	No determinada				
Bosque de encino-pino perennifolio mediano abierto	BQPPMa	Bosque de encino-pino perennifolio mediano abierto			Bosque de encino-pino	Qp
Bosque de encino-pino perennifolio mediano cerrado	BQPPMc	Bosque de encino-pino perennifolio mediano cerrado				

Bosque cultivado con monocultivo	BCm	Bosque cultivado con monocultivo	Plantaciones forestales	PF	Plantaciones forestales	PF
Pastizal bajo cerrado	PI/N	Pastizal inducido bajo cerrado; Pastizal natural bajo cerrado	Forestal no arbolado	FNA	Vegetación de pastizal	VP
Vegetación secundaria arbustiva abierta	Vsaa	Vegetación secundaria arbustiva abierta			Vegetación arbustiva	VA
Vegetación secundaria arbustiva cerrada	Vsac	Vegetación secundaria arbustiva cerrada				
Otras tierras	OT	No determinada	Otras tierras	OT	Otras tierras	OT
Agricultura de riego y/o temporal con cultivo anual	T/RA	Agricultura de riego con cultivo anual; Agricultura de temporal con cultivo anual	Plantaciones agrícolas	PAg	Plantaciones agrícolas	PAg
Zonas urbanas y asentamientos humanos	SA	Superficies artificiales	Asentamientos humanos	SA	Asentamientos humanos	SA

Fuente: García (2015). Elaboración propia con datos de INEGI (2002, 2009).

El geoprocusamiento permitió identificar las superficies de cambio para las distintas categorías de análisis, en el contexto de su ubicación, en dos áreas naturales protegidas: Área de Protección de Recursos Naturales “Zona Protectora Forestal de las cuencas de los ríos Valle de Bravo (Amanalco), Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec” (ZPFCRVBAMTT) y el “Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca” (APFFNT). La metodología utilizada favoreció la integración de actividades de gabinete y de campo, relacionadas con el análisis de los procesos de cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada. Esto resultó útil para la generación e interpretación de los mapas de uso del suelo, tipo y grados de cobertura de la vegetación. La conjunción de los métodos, herramientas y técnicas proporcionó una perspectiva confiable sobre los procesos de cambio de uso del suelo.

Análisis de los procesos de cambio de uso del suelo

La dinámica de uso del suelo en el Ejido Agua Bendita refleja diversos procesos de cambio en la ocupación del terreno y en el grado de cobertura arbolada (Cua-

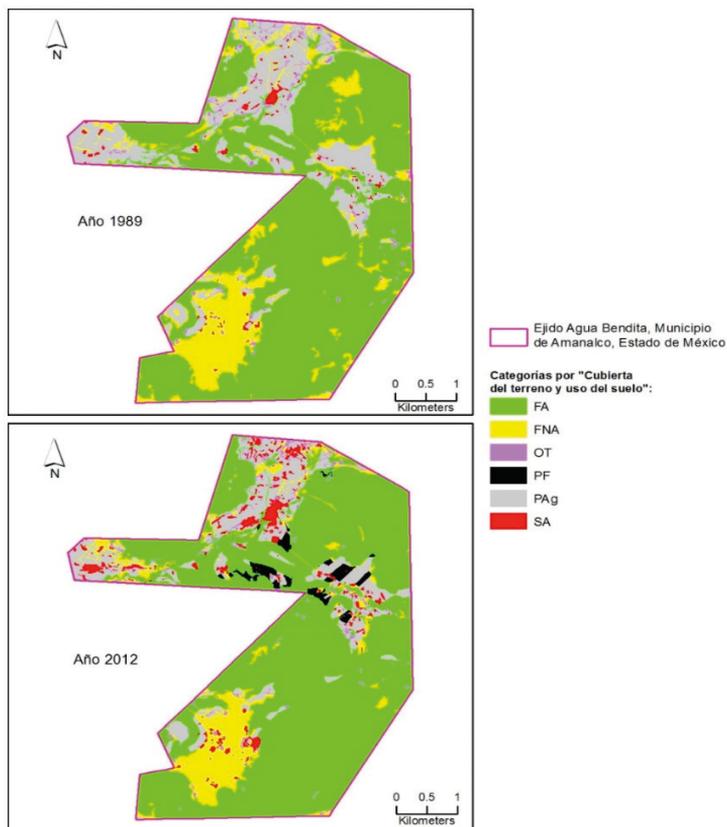
dro 8). Considerando a la categoría “Cubierta del terreno y uso del suelo”, estos cambios son notorios y significativos (Mapa 8). Los procesos de cambio que ocurrieron en el ejido se reflejan en un decremento del 30.1 % de la superficie forestal no arbolada (FNA) y en una pérdida del 28.7 % de la superficie destinada a la agricultura (PAg). Las categorías correspondientes a zonas urbanas y asentamientos humanos (SA), y plantaciones forestales (PF) registraron, para el año 2012, ganancias del 217 % y 100 % respectivamente, en comparación con el año 1989.

Cuadro 8. Tasa de cambio por cubierta del terreno y uso del suelo. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México

Cubierta del terreno y uso del suelo	Año 1989		Año 2012		Tasa de cambio en el período	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%	Hectáreas	%
FA	1395.95	63.6%	1521.89	69.4%	125.94	9.0%
FNA	326.98	14.9%	228.62	10.4%	-98.36	-30.1%
OT	36.30	1.7%	38.15	1.7%	1.85	5.1%
PAg	411.88	18.8%	293.53	13.4%	-118.35	-28.7%
SA	22.18	1.0%	70.31	3.2%	48.13	217.0%
PF	0.00	0.0%	40.79	1.9%	40.79	100.0%
Total	2193.29	100.0%	2193.29	100.0%		

Fuente: García (2015).

Mapa 8. Cubierta del terreno y uso del suelo: año 1989 y año 2012. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México



Fuente: García (2015).

La categoría forestal arbolada (FA), que agrupa a diversos tipos de bosque y que comprende la mayor superficie ejidal, presentó el incremento más significativo en términos absolutos, equivalente a 125.94 ha; esta cifra se incorporó a las 1,395.95 ha de bosques que existían en el año de 1989, obteniendo en total 1,521.89 ha arboladas para el año 2012.

Diversos estudios relacionados con el proceso de cambio de uso del suelo en el contexto espacial del Estado de México exponen casos donde se advierte sobre una tendencia en la disminución de la cubierta boscosa. Camacho *et al.*, (2010) evidenciaron pérdidas significativas en la superficie de bosques y selvas durante el período 1976-1993 para todo el Estado de México, al igual que para los terrenos

agrícolas. En el caso particular del Ejido Agua Bendita, esa tendencia no se reflejó en términos absolutos, ya que la cubierta con bosques incrementó, mientras que la superficie con pastizales permaneció ligeramente estable.

A nivel regional las investigaciones de cambio de uso del suelo también muestran una tendencia hacia la pérdida de superficies boscosas. Al respecto, Juan (2013) refiere que entre los años 1986 y 2011, en la Región Cultural Mazahua del Estado de México, las categorías de bosque, pastizales y zonas agrícolas presentaron un decremento en superficie, mientras que las categorías de asentamientos humanos y suelos desprovistos de vegetación tuvieron incrementos. Los datos obtenidos en el Ejido Agua Bendita difieren a lo que reportan los autores referidos, y no pueden compararse, pues los análisis se han hecho a diferentes escalas, con distintas metodologías y con distintos niveles de verificación en campo. La comparación de resultados no es confiable, por lo que no existe asociación alguna; además, para hacer comparaciones se deben estandarizar las leyendas de las categorías.

Mediante la tabulación cruzada (Cuadro 9) se observó que 104.85 hectáreas, clasificadas en el año de 1989 en la categoría de forestales no arboladas (FNA), se incorporaron a la categoría que agrupa a los bosques (FA). Las ganancias en superficie, registradas en las categorías de zonas urbanas y asentamientos humanos (SA) y plantaciones forestales (PF), obedecen en parte a la disminución de la cubierta agrícola (PAg). Lo anterior se demuestra al observar que 33.13 hectáreas dedicadas a la agricultura en 1989 fueron, en 2012, ocupadas por asentamientos humanos y zonas urbanas (SA). Adicionalmente, 34.82 ha de las 40.79 ha cubiertas en el año 2012 por plantaciones forestales (PF), en años anteriores eran terrenos agrícolas (PAg).

Cuadro 9. Matriz de transición para las categorías de cubierta del terreno y uso del suelo. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México

	Cubierta del terreno y uso del suelo	Año 2012						
		FA	FNA	OT	PF	PAg	SA	Total
Año 1989	FA	1352.68	16.61	9.05	1.36	14.26	1.99	1395.95
	FNA	104.85	165.08	11.59	3.92	31.05	10.49	326.98
	OT	17.86	4.37	4.01	0.69	6.85	2.52	36.3
	PAg	46.50	42.56	13.5	34.82	241.37	33.13	411.88
	SA						22.18	22.18
	Total	1521.89	228.62	38.15	40.79	293.53	70.31	2193.29

Fuente: García (2015).

Con el análisis de la tabla anterior, dos procesos ecológicos —socioeconómicos y culturales— son evidentes: el primero se relaciona con el cambio de uso del suelo de las superficies agrícolas para atender la demanda de espacios para la vivienda a causa del incremento poblacional; el segundo, por otra parte, está relacionado con los terrenos que tradicionalmente se habían destinado al cultivo de plantas como el maíz y la avena, y que ahora son utilizados para plantar árboles de Navidad (*Pseudotsuga sp.*). Esta actividad, en términos relativos, sería más rentable dada la vocación forestal del terreno (García, 2015).

El establecimiento de las plantaciones forestales en el ejido es influido por factores asociados con la disminución de la superficie de terrenos utilizados en la agricultura. Este factor está relacionado con las condiciones ecológicas del sitio, que pueden resultar más favorables para el desarrollo de árboles, en comparación con el cultivo del maíz o la avena de temporal que tradicionalmente se cultivaban en estos suelos. Regil & Franco (2009 citados en García, 2015) refieren a la región del Nevado de Toluca (de la cual forma parte el Ejido Agua Bendita) como una zona de montaña, con fuertes pendientes y con poca aptitud productiva, en donde las actividades agrícolas han afectado tanto su configuración natural como a la economía de las familias que ahí habitan, debido a que cultivan en espacios sin vocación agrícola y vulnerables a los procesos erosivos (García, 2015).

Las plantaciones de *Pseudotsuga sp.* son desarrolladas por empresas especializadas que rentan las parcelas a sus propietarios por un período de al menos cinco años. Durante este período, el propietario de la parcela tiene la garantía de un ingreso fijo por concepto de renta de esta, lo cual no ocurriría si él mismo las sembrara con cultivos anuales, ya que los riesgos hidrometeorológicos y los factores que afectan la comercialización de productos agrícolas provocarían incertidumbre e inestabilidad económica. En la misma situación, algunos arrendadores de las parcelas han logrado ubicarse como empleados de la empresa de plantaciones obteniendo ingresos económicos adicionales a la renta del terreno, o bien, de no ocurrir lo anterior, existe la posibilidad de buscar empleo en otro sector productivo —migración—.

Asociando lo anterior con el incremento poblacional registrado durante el período de análisis de veintitrés años, se deduce que el mismo ha contribuido de forma significativa a la disminución de la superficie agrícola en el ejido. Esto implica una reducción en la superficie de producción de los alimentos para la dieta tradicional de las familias y de los animales domésticos, modificando con ello tanto sus fuentes de abasto como de producción. Esto se debe a que un sector de la población ha comenzado a implementar nuevos sistemas de producción agrícola, similar a lo que ocurre en la localidad de Huacal Viejo, donde se ha iniciado el establecimiento de infraestructura para el desarrollo de la agricultura tecnificada controlada —invernaderos—. En caso de que este proyecto tenga éxito, habría po-

sibilidades de diversificar los cultivos y de aumentar la productividad agrícola. Sin embargo, este hecho —de manera similar a lo que ocurre con las plantaciones de árboles de Navidad— esto incrementaría el uso de agroquímicos y la generación de residuos, provocando impactos al entorno y a la salud de los habitantes.

Los sistemas de producción en invernaderos están enfocados a incrementar la productividad, pero impactan al ambiente debido a que para su producción son utilizados grandes volúmenes de agua y de agroquímicos. Sin embargo, estos sistemas son apoyados por diversos órdenes de gobierno como estrategias para incrementar la producción y la productividad, situación que está influyendo en el cambio de uso del suelo y afecta las condiciones socioculturales de las familias campesinas cuya fuente principal de alimentación es el maíz.

Un proceso adicional ocurrido en el ejido está vinculado con la incorporación de superficies significativas de terrenos agrícolas, áreas con pastizales y zonas con vegetación arbustiva al uso forestal arbolado. Con base en las categorías de uso del suelo y tipos de vegetación², se observa que 24.76 ha clasificadas en el año 1989 en la categoría de agrícolas (PAg), 15.09 ha de pastizales (VP), y 38.60 ha de vegetación arbustiva (VA), fueron incorporadas para el año 2012 a la categoría de bosque de oyamel-pino (Ap) (Cuadro 10). Este proceso está condicionado por las reforestaciones y la inducción de la regeneración natural promovida por el manejo forestal que se hace desde el año 1995.

La mayoría de los terrenos agrícolas incorporados al uso forestal producían bajos rendimientos de avena y maíz, ya que la vocación del suelo no es agrícola. Por otro lado, representaban un escaso valor económico, semejante a los pastizales y los terrenos con vegetación arbustiva, en ambos casos utilizados como áreas de pastoreo. Sin embargo, aunque dichos terrenos pueden resultar ociosos desde el enfoque económico, desde el punto de vista ecológico desempeñan funciones importantes.

² Esto con soporte en el segundo enfoque de reclasificación indicado en el cuadro 3.

**Cuadro 10. Matriz de transición de categorías de uso del suelo y tipos de vegetación.
Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013**

	Uso del suelo y tipos de vegetación	Año 2012												
		SA	Ap	PAg	VP	VA	PF	OT	P	Pa	Ph	Pq	Qp	Total
Año 1989	SA	22.18												22.18
	Ap	0.94	999.96	5.17	4.96	1.51	0.79	4.04	4.97	0.77				1023.11
	PAg	33.13	24.76	241.37	26.71	15.85	34.82	13.50	3.44	3.99	3.16	7.86	3.29	411.88
	VP	7.71	15.09	18.41	146.63	3.14	0.34	5.29	6.50	5.09	0.23	4.26	3.30	215.99
	VA	2.78	38.60	12.64	8.49	6.82	3.58	6.30	13.37	13.81	0.55	2.66	1.39	110.99
	OT	2.52	10.57	6.85	3.90	0.47	0.69	4.01	1.93	2.37	0.42	2.27	0.30	36.30
	P	0.17	0.11	1.34	0.71	0.16	0.53	1.15	69.24	0.10				73.51
	Pa	0.48	4.17	3.29	2.24	2.50	0.04	1.73	0.70	169.80	0.02			184.97
	Ph	0.02		0.64	0.33						8.25			9.24
	Pq	0.17		1.58	0.78	0.14		0.47				49.53	0.02	52.69
	Qp	0.21	0.41	2.24	1.88	1.40		1.66	0.77		0.47	0.03	43.36	52.43
	Total	70.31	1093.67	293.53	196.63	31.99	40.79	38.15	100.92	195.93	13.10	66.61	51.66	2193.29

Fuente: García (2015).

La ubicación del ejido en dos áreas naturales protegidas influye en la dinámica de cambio en la cubierta del terreno y uso del suelo. De acuerdo con lo mostrado en el Cuadro 8, la categoría forestal arbolada (FA) registró una ganancia de 125.94 ha para el año 2012, de las cuales 73.48 ha (Cuadro 11) fueron cuantificadas en el ANP (ZPFCRVBAMTT), y las 52.46 ha restantes se registraron en el ANP (APFFNT).

Cuadro 11. Tasa de cambio en las categorías de cubierta del terreno y uso del suelo en el contexto de las áreas naturales protegidas. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013

Área natural protegida	Cubierta del terreno y uso del suelo	Superficie (ha)		Tasa de cambio en el período	
		Año 1989	Año 2012	Hectáreas	%
Área de Protección de Recursos Naturales "Zona Protectora Forestal de las cuencas de los ríos Valle de Bravo (Amanalco), Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec" (ZPFCRVBAMTT)	FA	707.95	781.43	73.48	10.4%
	FNA	253.46	208.61	-44.85	-17.7%
	OT	27.99	32.05	4.06	14.5%
	PF	0.00	39.22	39.22	100.0%
	PAg	375.47	257.16	-118.31	-31.5%
	SA	20.90	67.30	46.40	222.0%

Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT)	FA	688.00	740.46	52.46	7.6%
	FNA	73.52	20.01	-53.51	-72.8%
	OT	8.31	6.10	-2.21	-26.6%
	PF	0.00	1.57	1.57	100.0%
	PAg	36.41	36.37	-0.04	-0.1%
	SA	1.28	3.01	1.73	135.2%
Total		2193.29	2193.29		

Fuente: García (2015).

El incremento en la ocupación del terreno por la categoría zonas urbanas y asentamientos humanos (SA), tuvo una mayor ganancia en el ANP “APRNZPFCRVB-MTT”, cuantificándose en este caso 46.40 ha de la superficie total incrementada entre los años 1989 y 2012 para esta categoría. La categoría terrenos forestales no arbolados (FNA) presentó pérdidas significativas tanto en el ANP “APFYFNT” como en el ANP “APRNZPFCRVBMTT” —53.51 ha y 44.85 ha, respectivamente—. En el caso de la categoría SA, la población respetó la prohibición de construir asentamientos humanos al interior del ANP “APFYFNT”, mientras que en la categoría FNA hubo una tendencia de reconvertir áreas forestales no arboladas en zonas arboladas.

Con base en las plantaciones forestales de árboles ornamentales para Navidad, y que en el año 1989 no existían, estas han sido establecidas dentro de los límites del ANP “APRNZPFCRVBMTT”, a razón de 39.22 ha (Cuadro 11) de las 40.79 ha cuantificadas para el año 2012. Esto es explicado por el hecho de que, si se hubieran sembrado al interior del ANP “APFYFNT”, no habría sido posible su aprovechamiento, ya que la legislación forestal actual no lo permite. La normatividad vigente en materia de ANPs puede condicionar los procesos de cambio de uso del suelo, ya que, en México, el desarrollo de actividades con fines comerciales en las ANPs presenta restricciones y limitaciones.

Referente a los cambios en el grado de cobertura de copas del arbolado y el grado de cobertura de las áreas con vegetación abustiva, también fueron identificados los procesos de cambio. Los más significativos son: de las 1,395.95 ha (Cuadro ocho) con vegetación forestal arbolada (FA) que existían en el año 1989, 1,263.71 ha presentaron una condición de cobertura cerrada, situación que para el año 2012 incrementó en un 17.5 %; es decir, 221.35 ha más (Cuadro 12).

Cuadro 12. Cambio en la condición del grado de cobertura de la vegetación por cubierta del terreno. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013

Cubierta del terreno y uso del suelo	Condición de la cobertura	Superficie (ha)		Tasa de cambio en el período	
		Año 1989	Año 2012	Hectáreas	%
FA	Abierta	132.24	36.83	-95.41	-72.1%
	Cerrada	1263.71	1485.06	221.35	17.5%
FNA	Abierta	46.01	24.20	-21.81	-47.4%
	Cerrada	280.97	204.42	-76.55	-27.2%
OT	Abierta	14.95	25.36	10.41	69.6%
	Cerrada	21.35	12.79	-8.56	-40.1%
PF	No aplica	0.00	40.79	40.79	100.0%
PAg	No aplica	411.88	293.53	-118.35	-28.7%
SA	No aplica	22.18	70.31	48.13	217.0%
Total		2193.29	2193.29		

Fuente: García (2015).

El cambio en el grado de cobertura de copas más significativo se presentó en el bosque de oyamel-pino alto cerrado (BA/PAC). Casi la mitad de las 221.35 ha totales (Cuadro 13) que cambiaron de cobertura abierta a cobertura cerrada correspondieron a este tipo de vegetación (107.49 ha).

Cuadro 13. Tasa de cambio por categoría de uso del suelo, tipo y grado de cobertura de la vegetación. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013

Uso del suelo, tipo y grado de cobertura de la vegetación	Superficie (ha)		Tasa de cambio en el período	
	Año 1989	Año 2012	Hectáreas	%
BA/PAa	48.57	11.64	-36.93	-76.0%
BA/PAC	974.54	1082.03	107.49	11.0%
BCm	0.00	40.79	40.79	100.0%
BP/AAa	19.62	5.41	-14.21	-72.4%
BP/AAc	165.35	190.52	25.17	15.2%
BP/HAA	0.00	2.09	2.09	100.0%
BP/HAC	9.24	11.01	1.77	19.2%
BP/QMa	13.01	0.00	-13.01	-100.0%

BP/QMc	39.68	66.61	26.93	67.9%
BPAa	17.42	11.40	-6.02	-34.6%
BPAc	56.09	89.52	33.43	59.6%
BQPPMa	33.62	6.29	-27.33	-81.3%
BQPPMc	18.81	45.37	26.56	141.2%
OT	36.30	38.15	1.85	5.1%
PI/N	215.99	196.63	-19.36	-9.0%
SA	22.18	70.31	48.13	217.0%
T/RA	411.88	293.53	-118.35	-28.7%
Vsaa	46.01	24.20	-21.81	-47.4%
Vsac	64.98	7.79	-57.19	-88.0%
Total	2193.29	2193.29		

Fuente: García (2015).

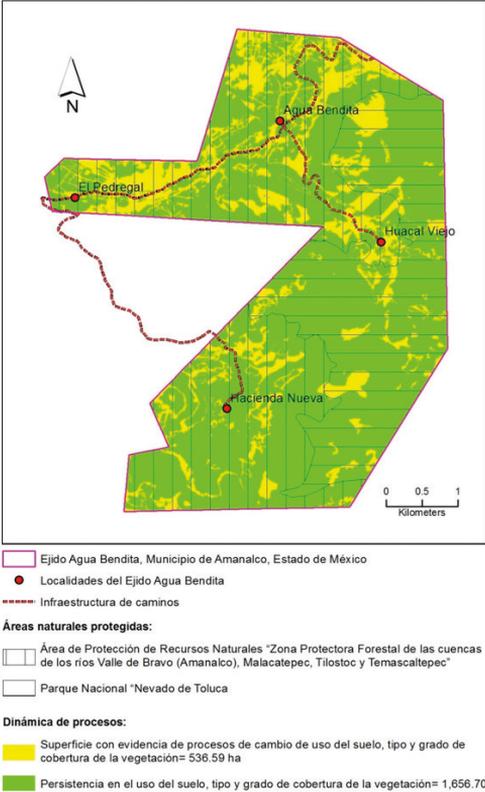
La superficie ocupada por vegetación secundaria arbustiva cerrada (Vsac) tuvo una reducción significativa al disminuir de 64.98 ha a 7.79 ha (Cuadro 13); es decir, un 88 % menos (57.19 ha). De las 57.19 ha pérdidas en esta categoría, 23.89 fueron incorporadas a la categoría bosque de oyamel-pino alto cerrado (BA/PAc) y 13.31 a la categoría bosque de pino alto cerrado (BPAc).

Las cifras de cambio de uso del suelo y del grado de cobertura arbolada desde un enfoque unidireccional —socioeconómico, cultural o ecológico— son consideradas muy significativas. Desde una perspectiva sistémica, muestran indicios de los impactos que están ocurriendo en los terrenos ejidales. El balance global de la superficie que presentó cambios entre 1989 y 2012, expuesto a través del cambio en el tipo de cubierta y en el cambio del grado de cobertura arbolada, es de 536.59 ha 24.5 %.

En el Mapa 12 se muestran las evidencias de procesos de cambio en la cubierta del terreno. En el caso del Ejido Agua Bendita existe relación entre la proximidad de los sitios donde ocurren los procesos, con la presencia del factor antrópico: la existencia de asentamientos humanos y vías de comunicación, el manejo silvícola, la accesibilidad al terreno, e incluso la existencia de ANPs. Esta condición no es general, ya que en otras entidades federativas de México se ha demostrado lo contrario. Bocco *et al.* (2000) refieren que las zonas más afectadas por los procesos de cambio de uso del suelo, ocurridos entre 1970 y 1990 en el Estado de Michoacán, fueron las que se ubicaron relativamente más alejadas de los centros de población, y que, en el caso de la pérdida de bosques y selvas, la causa se asoció a un descontrol en la actividad forestal.

Las porciones norte, centro y oeste del territorio presentaron una mayor concentración de la superficie con procesos de cambio. Son las áreas próximas a las localidades Agua Bendita, El Pedregal y Huacal Viejo, que agrupan el mayor número de habitantes; así como a su principal vía de acceso, la carretera Toluca-Amanalco. Las localidades de Agua Bendita y de Huacal Viejo están conectadas a través de un camino vecinal revestido de concreto, el cual proporciona un fácil acceso a las plantaciones forestales establecidas en esa última localidad. El incremento que ha tenido tanto la superficie con cubierta arbolada en el ejido, como el grado de cobertura arbolada, ha generado impactos de carácter cultural, socio-organizativo, económico y ambiental, lo cual puede ser explicado en función del creciente interés de la población local por el manejo de sus bosques.

Mapa 12. Evidencias de procesos de cambio de uso del suelo, tipo y grado de cobertura de la vegetación. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México. 2013



Fuente: García (2015).

Los procesos de cambio de uso del suelo y del grado de cobertura tienen un importante vínculo con el aprovechamiento forestal maderable que, desde 1995, se ha desarrollado en un total de quinientas ocho hectáreas de bosques maduros, ubicadas en la porción del ejido correspondiente al ANP “APRNZPFCRVBMTT”. Uno de estos beneficios lo constituye el reparto directo de utilidades a los setenta ejidatarios legalmente reconocidos, generado cada año durante la comercialización de la madera, equivalente entre sesenta y setenta por ciento del ingreso obtenido. Cada uno de los ejidatarios representa un jefe de familia en quien recae la responsabilidad de aportar el ingreso económico para la subsistencia familiar. El ingreso proveniente del reparto de utilidades representa una contribución a su economía, pues aproximadamente el sesenta por ciento de los ejidatarios son personas de la tercera edad dedicadas a la agricultura y la cría de animales domésticos; o bien, tienen discapacidades que les impiden desempeñar otras actividades productivas, o no disponen de otras fuentes de ingreso fijas o permanentes. El ingreso económico obtenido por la venta de madera representa la parte medular para su manutención.

Entre el 30 % y 40 % restante de los recursos económicos generados por la venta de madera es destinado al mantenimiento de la infraestructura en el ejido —calles y caminos vecinales, servicio de agua potable, drenaje y electrificación—, al equipamiento de instituciones —escuelas, clínicas de salud e iglesias—, y se utiliza para aportar, económicamente o en especie, a la realización de eventos socioculturales, cívicos y religiosos. Las obras para la conservación del suelo y agua coadyuvan a la mitigación de los impactos generados durante el aprovechamiento forestal maderable.

El desarrollo de la cadena productiva forestal y la generación de empleos son otros beneficios del aprovechamiento forestal. Cada año se generan cincuenta y cinco empleos temporales relacionados con las actividades de abastecimiento forestal, que inicia con el corte de los árboles, la elaboración de la trocería (corte de madera) y leñas, el transporte de las materias primas y el control de residuos del aprovechamiento. También son generados cuarenta y cinco empleos adicionales, vinculados con la conservación y protección del bosque, y que tienen lugar en distintas épocas del año, siendo relevantes: la reforestación —temporada de lluvia—, apertura y mantenimiento de brechas cortafuego —temporada de estiaje—, mantenimiento de caminos —antes y después de la temporada de lluvia—, y la construcción y mantenimiento de obras para control de procesos erosivos, que muchas veces benefician a la fauna silvestre. Las personas dedicadas a estas actividades perciben un ingreso económico semanal suficiente para la subsistencia familiar.

Las actividades están asociadas con las estaciones del año. Las familias del ejido conocen las condiciones del ambiente, lo cual les permite beneficiarse del manejo de sus distintos componentes y simultáneamente evitar su degradación.

Como lo señala Steward (1955), el conocimiento y manejo del entorno involucran el estudio de los recursos naturales existentes y disponibles en una comunidad, y son esenciales para el sustento de los grupos humanos. La subsistencia se refiere a los sistemas de producción con tendencia hacia el consumo de lo producido. El aprovechamiento maderable impacta en el sector de la industria de la transformación —aserraderos— a nivel local, y en las carpinterías de los municipios de Amanalco y Valle de Bravo.

La industria de la transformación es un componente importante de la diversificación productiva y de las fuentes de empleo en el ejido, cuya economía, hasta antes del año 1995, era la agricultura y la cría de animales domésticos. El conjunto de aserraderos y las carpinterías existentes en el ejido generan empleos permanentes, lo que representa un impacto indirecto del aprovechamiento forestal. Además de los municipios de Amanalco y Valle de Bravo, los de Zinacantepec y Toluca también forman parte del mercado de los productos forestales producidos en el ámbito local. Por ello, impacto social adquiere magnitud regional, abasteciendo a los sectores de la construcción de viviendas y la fábrica de muebles. Steward (1955) establece que las comunidades se vinculan con sociedades mayores a través de lo que se conoce como niveles de integración, lo cual permite explicar que el Ejido Agua Bendita se encuentra inmerso en el contexto de la economía regional y nacional.

La interacción de factores sociales, económicos, ecológicos y culturales constituyen el sistema complejo que representa el Ejido Agua Bendita. La interacción impacta en los componentes del ambiente y se refleja en los cambios ocurridos en la cubierta del terreno y en el uso del suelo. Los impactos se reflejan en la pérdida de terrenos agrícolas para ocuparlos con asentamientos humanos, obras de urbanización y con monocultivos de árboles, y en la recuperación de la cubierta arbolada en áreas con vegetación secundaria.

Reflexiones finales

En épocas recientes, estudios sobre la degradación de tierras en países en vías de desarrollo señalan que el incremento desproporcionado de la población y la demanda de espacios para la producción de alimentos y para la expansión de áreas habitacionales representa una amenaza para los recursos naturales (Scherr, 1999, citado en García, 2015), pues, desde 1950, se refleja un incremento significativo en la población de países del sur y sureste de Asia, el Sahara africano, México y América Central. A su vez, esto último ha originado mayor demanda de tierras agrícolas para uso intensivo, incidiendo en la degradación del suelo y los ecosistemas. Aún en países donde se ha mantenido con cierta estabilidad la tasa de crecimiento poblacional —por ejemplo, Nepal—, la demanda de tierras para

cultivo presenta una tendencia de incremento, lo que incide en la merma de su biodiversidad, a causa de la pérdida de la cubierta vegetal —de tipo forestal—, por los cambios de uso del suelo para la agricultura y el pastoreo en suelos marginales propensos a procesos erosivos, deslizamientos, inundaciones, y a la sedimentación por las lluvias torrenciales (MOPE, 2002, citado en García 2015).

Franco *et al.* (2006, citados en García, 2015), realizaron un análisis sobre el cambio de uso del suelo y grado de cobertura de la vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, para el período 1972-2000. En este trabajo fueron notorios los procesos de perturbación-recuperación forestal, mostrados a partir de cambios de bosques densos a bosques semidensos —perturbación moderada—, a bosques fragmentados —perturbación fuerte—, a terrenos agrícolas o superficies de uso no forestal —perturbación grave—. Con soporte en los procesos de perturbación, los autores utilizaron el mismo criterio, pero en sentido inverso; es decir, procesos de recuperación-perturbación forestal, teniendo con ello categorías de recuperación baja, media y alta. Los bosques de oyamel y de latifoliadas tienden hacia un equilibrio entre la recuperación y la perturbación, mientras que, en el bosque de pino, la tendencia es hacia la perturbación. Esto fue asociado a las características de las especies vegetales, pues el pino tiene mayor interés comercial. Además, en el ANP y con fundamento en la legislación actual, no se permite un manejo maderable intensivo de los bosques, lo que puede influir al furtivismo.

Bocco *et al.*, (2000) analizaron procesos de deforestación y de cambio de uso del suelo para el estado de Michoacán, México, durante el período comprendido entre las décadas de 1970 y de 1990. Para la estimación de cambios fueron aplicadas técnicas de sistemas de información geográfica, y se utilizó tanto cartografía temática —para la década de 1970— como espacio-mapas —imágenes de satélite Landsat TM—. Se generó una leyenda de uso del suelo y cobertura que consideraba, entre otras categorías, los tipos de vegetación identificados en la zona de estudio, cuya denominación fue complementada con la condición “abierto” o “cerrado” de los bosques, en alusión al grado de cobertura del arbolado. Los cambios más significativos, tanto para bosques como para selvas, ocurren en zonas relativamente remotas de los centros de población, donde hay baja presión demográfica, y que no están generando actividades productivas alternas para la población. Además, los procesos de pérdida y deterioro de bosques y selvas ocurren más por un descontrol en la actividad forestal que como resultado de una política explícita de desarrollo económico no sustentable.

La situación geográfica del Estado de México en el contexto nacional y las relaciones económicas, políticas, demográficas y socioculturales, son factores que influyen en la generación de diversos problemas ambientales que a corto, mediano, y largo plazo inciden en la calidad de vida, la salud y el bienestar de los habitantes

de esta entidad. Por ello, es importante analizar las áreas con procesos de cambio de uso del suelo y su asociación con los cambios en el grado de cobertura arbolada. Esta problemática se asocia con otros factores geográficos, ambientales, económicos y socioculturales, pues, como lo señalan Lambin, Helmut & Lepers (2003), las transiciones de cambio a corto plazo son causadas por factores internos y externos, siendo peculiares los procesos migratorios y las condiciones macroeconómicas.

El espacio geográfico del Estado de México, por su ubicación y su cercanía con la Ciudad de México y otras ciudades de entidades adyacentes, está sujeto a fuertes presiones ambientales. En este territorio el incremento poblacional ocasiona la demanda de espacios para vivienda, apertura de áreas agrícolas para establecer cultivos y satisfacer las necesidades alimentarias de las familias, así como la utilización de recursos naturales para proporcionar bienes y servicios. La demanda ha derivado en cambios de uso del suelo y afectaciones en el grado de la cobertura arbolada en los terrenos forestales.

El estudio de los cambios en el grado de la cobertura arbolada tiene relevancia ambiental, ya que representa el inicio del proceso de cambio de uso del suelo (cambio que puede ser positivo o negativo), además, es un indicador para el establecimiento de áreas que pueden estar sujetas al pago por servicios ambientales-hidrológicos, siempre y cuando el grado de cobertura se mantenga por encima del 80 % durante al menos cinco años (Valdez, González & Santos, 2006, citados en García, 2015).

Las cifras de cambio estimadas para cada una de las ventanas de tiempo permiten inferir el camino hacia la sustentabilidad en el Ejido Agua Bendita, esto en función de que el asentamiento humano está apoyándose en el manejo forestal para preservar sus recursos naturales. Además, los procesos cuantificados pueden ser indicadores para evaluar los impactos que ocurren en cada uno de los elementos que configuran el sistema. El ejido, por su ubicación geográfica y su cercanía con otros asentamientos humanos está sujeto a fuertes presiones sociodemográficas e intereses políticos y administrativos. Ante esta situación, es importante promover acciones para capacitar, sensibilizar e informar a la sociedad en general, para que participe en actividades que coadyuven en el amortiguamiento o disminución de los impactos regionales que ocasionan los procesos de cambio de uso del suelo y sus posibles repercusiones.

En el Ejido Agua Bendita, los procesos de cambio de uso del suelo y de grado de cobertura están asociados con las actividades económicas que realizan las familias. Es posible que, a largo plazo, estas puedan conducir hacia la sustentabilidad a nivel local, ya que hay un notable incremento en la superficie arbolada. Esta es producto de la reconversión de parcelas agrícolas y vegetación arbustiva a zonas forestadas, y reincorpora el terreno en muchos de estos casos, a su vocación natu-

ral. De 1989 al 2012, incrementó la superficie arbolada, tanto la del bosque natural como la del bosque artificial —plantaciones forestales comerciales—.

En el Ejido Agua Bendita, en las últimas dos décadas han sido establecidas algunas plantaciones de árboles de Navidad, rompiendo el esquema tradicional de sembrar exclusivamente cultivos agrícolas anuales. Los ejidatarios han observado que a mediano y a largo plazo las plantaciones de árboles de navidad son más rentables en comparación con algunos cultivos anuales —como el maíz y frijol—, sembrados en el municipio de Amanalco. En especial, cuando estos son establecidos en suelos con aptitud forestal. Con la organización y planificación del pastoreo, las prácticas agrícolas y la construcción de infraestructura, se ha promovido la regeneración del arbolado en la superficie ejidal.

En el Ejido Agua Bendita existen superficies de bosque en donde ha disminuido la densidad de árboles, producto de la tala, que en su momento fue necesaria para eliminar plagas en rodales de pino, afectando con ello a las poblaciones de esta conífera y en consecuencia indirecta al resto de los componentes naturales.

Los bosques existentes en la superficie ejidal han estado sometidos a regímenes de manejo silvícola desde mediados de la década de 1980. Aplicando distintas intensidades de aprovechamiento, algunos de los anteriores impactos han sido muy evidentes en terrenos con bosques de oyamel —especie tolerante— y en los rodales con bosque de pino —especie intolerante—. Una incorrecta aplicación de los tratamientos silvícolas no sólo podría resultar en un aclaramiento de gran magnitud de la masa forestal, sino que, en casos extremos, puede conducir a la pérdida total del arbolado, y, por consiguiente, al cambio de uso de suelo.

Este estudio de caso es un referente para comprender de modo preciso y concreto lo que ocurre en lugares sujetos al aprovechamiento maderable y que, al mismo tiempo, son elementos importantes de territorios decretados como área natural protegida. En este sentido, es importante referir que son escasas las investigaciones que asocian el cambio de uso del suelo con el grado de cobertura arbolada. En el Ejido Agua Bendita, 508 ha arboladas se encuentran bajo aprovechamiento maderable controlado desde el año 1995, mientras que 807.52 ha se localizan dentro de lo que era el ANP “Parque Nacional Nevado de Toluca”, donde en años anteriores no era posible el aprovechamiento comercial controlado.

Considerando que el Ejido Agua Bendita está ubicado en el medio rural, un sustento teórico relevante es la geografía enfocada a esta disciplina de conocimiento. Según Clout (1976), la geografía rural es el estudio del reciente uso social y económico de la tierra, y de los cambios espaciales que han tenido lugar en áreas de menor densidad de población, las cuales, en virtud de sus componentes visuales, se reconocen como el “campo”. Un aspecto importante que analiza la geografía rural es el uso social y económico de la tierra, así como los cambios espaciales que

en ésta ocurren. El análisis de cambio de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada en el ejido tiene sustento en la geografía rural (García, 2015).

Considerando que la geografía rural analiza y hace referencia tanto a los componentes tangibles como a los intangibles —los cuales integran el campo—, el Ejido y sus elementos físicos, biológicos y socioculturales fueron analizados como un sistema complejo, cuyos límites, de acuerdo con García (2006), no están de inicio definidos, pero sí pueden ser definibles. Al hablar de un sistema, García (2006) refiere que esto significa estudiar un “trozo de la realidad”, que incluye a los aspectos físicos, biológicos, sociales, económicos y políticos. Una consideración importante en el estudio de un sistema es la selección de los componentes que lo integran; es decir, los elementos, los límites y sus interrelaciones, tanto internas como externas. Raras veces esto se puede ver claro desde un comienzo y resulta necesario realizar más de un intento. La delimitación del sistema se va transformando, así, en el transcurso de la investigación (García, 2006, citado en García, 2015).

Cuando se establecen los “límites” del sistema se comienza, sin duda, por las fronteras geográficas y después con otros tipos de límites menos obvios. Pueden establecerse límites entre formas de producción, de organización económica o de culturas que coexisten en una región, algunas de las cuales no son pertinentes para el estudio o lo son con menor prioridad y pueden, por consiguiente, dejarse “afuera” (García, 2006).

En el caso de estudio, el límite inicial del sistema está representado por el espacio geográfico que comprende al Ejido Agua Bendita, y su asociación con zonas de transición entre las áreas arboladas y las áreas no arboladas. En el contexto de las áreas arboladas, se incluyen las porciones con distintos grados de cobertura de este tipo. Entre los elementos que conforman el sistema, existen interacciones entre sí, las cuales se manifiestan a través de ciertos procesos asociados entre el cambio de uso del suelo y el de grado de cobertura arbolada. Estos procesos implican una transformación del paisaje rural, que ocurren en diferentes escalas de tiempo —año 1989 y año 2012— (García, 2015).

La regeneración de bosques está ocurriendo en las tierras altas y en otras áreas donde las condiciones ambientales no son aptas para la producción agrícola, y, por consiguiente, la producción es relativamente pobre. En regiones poco pobladas, como el caso del centro de Francia, las tierras de labor han sido abandonadas al cultivo y amplias extensiones de pastos comunales han dejado de usarse para el pastoreo —ganadería—. Estos procesos han propiciado condiciones favorables para que en estas regiones haya tenido lugar la repoblación forestal en diversos grados, acciones que incluyen desde el restablecimiento natural e inducido de cientos de hectáreas arboladas en terrenos propiedad de los pueblos, hasta plantaciones en superficies pequeñas de propiedades privadas. En el Ejido Agua Bendita, por encontrarse entre

los 2,600 y 3,400 msnm, la regeneración de bosques no sólo está asociada con esta condición geográfica, sino con aspectos socioeconómicos, culturales, administrativos y de organización social de las familias que ahí habitan (García, 2015).

En México y otros países de América Latina, el proceso anterior no es común, pues con frecuencia, ocurre lo contrario; sin embargo, en los terrenos de las localidades, mediante acciones de organización social para el trabajo, coordinación institucional, concertación social, colaboración, cooperación y gestión, está ocurriendo algo semejante a lo que pasa en algunos países europeos —cambio de uso de suelo, de espacios agrícolas abandonados y erosionados, a espacios ocupados por especies forestales—. Este proceso está ocurriendo cien años después que en Europa (García, 2015).

En países con economías emergentes, como México, procesos similares al anterior han sido más tardíos, pues en la actualidad la tendencia de inducir el establecimiento de masas arbóreas no se ha generalizado. No obstante, existen propietarios de terrenos como el caso de los responsables del ejido, quienes han implementado acciones de repoblación forestal en áreas agrícolas, lo cual puede fomentar un desarrollo local sustentable a largo plazo. Desde luego, este proceso no es fácil, toda vez que existen múltiples intereses que pueden limitar la continuidad de la participación social (García, 2015).

Al asociar lo referido por George (1974) con las condiciones del ejido, se puede notar que, antes del inicio del PMARFM varias zonas del territorio estaban ocupadas con terrenos agrícolas y pastizales, los cuales, en el presente, están en proceso de repoblación forestal u ocupados por el bosque. Los ejidatarios han preservado y preservan sistemáticamente los espacios ocupados por el bosque, e inclusive, han incrementado espacios para establecimiento de cultivos agrícolas, apertura de áreas para el pastoreo de animales domésticos y satisfacción de necesidades de vivienda. Este proceso de uso del suelo es peculiar en la región, y representa un modelo de éxito para otros lugares de México.

Todas las colectividades rurales parecen haber empleado inicialmente el fuego para destruir la vegetación espontánea o la vegetación natural desarrollada después del abandono de tierras anteriormente cultivadas (George, 1974). Este proceso de acondicionamiento del terreno en el Ejido Agua Bendita, de acuerdo con la versión de los habitantes entrevistados durante el trabajo de campo, ocurrió antes del reparto agrario.

El hombre puede adaptarse en dimensiones culturales a un ambiente determinado, considerando siempre a la cultura como un elemento decisivo que permite a las sociedades saber cómo actuar ante ciertas circunstancias y manifestaciones de los componentes del ecosistema para ajustarse a ellos (Steward, 1955). Para lograr tal adaptación, el hombre es capaz de valerse de la tecnología, que puede aplicarse de manera simultánea o posterior al proceso de ajuste del

hombre al ambiente. En el ejido, los habitantes pueden valerse del uso del fuego y del desmonte para acondicionar espacios destinados a la producción de alimentos, establecimiento de viviendas, o siembra de árboles para diversificar sus fuentes de ingresos³ (García, 2015).

Los habitantes del Ejido Agua Bendita tienen rasgos socioculturales de origen otomí. Su alimentación se caracteriza por el consumo de productos cultivados en parcelas agrícolas —terrenos que en años anteriores tenían una cubierta arbolada—, de productos derivados de animales domésticos criados en el traspatio de las viviendas y en zonas de pastizal (gallinas, guajolotes, vacas y ovejas) o piscifactorías (cultivo de trucha -*Oncorhynchus mykiss*-), y se complementa con la recolección de productos silvestres del bosque (hongos, flores, follaje, tubérculos, semillas), y en terrenos no forestales con vegetación arbórea (terrenos con frutales); además, de manera ocasional se alimentan de fauna silvestre que habita en bosques y pastizales (García, 2015).

En los asentamientos humanos ejidales, la vivienda tradicional incluye a menudo materiales para la construcción de madera obtenidos de los árboles del bosque. En las labores cotidianas domésticas, agrícolas y de cría de animales se emplean frecuentemente utensilios y herramientas de madera; además, se utiliza leña como combustible. Es frecuente también el uso de plantas silvestres como forrajes para la alimentación de los animales domésticos, para el tratamiento de enfermedades, para fines ceremoniales, de ornato y rituales. El aprovechamiento maderable es una actividad productiva vinculada a la cultura de los habitantes del ejido, e implica la presencia de un cierto desarrollo tecnológico (en este caso acorde al que representa la práctica de la industria del aserrío), situación asociada con lo señalado por Steward (1955). De ello se puede deducir que el elemento tecnológico se ha adaptado a las condiciones de ese entorno (García, 2015).

Los espacios geográficos del Ejido donde suceden procesos de cambio de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada son modificados de acuerdo a las condiciones socioculturales de las familias; éstas, a menudo requieren de espacios acondicionados para el establecimiento de cultivos que les brinden alimento a corto plazo, pero también porciones de terreno con recursos naturales como los bosques, que les proporcionan, además de alimentos, bienes tangibles e intangibles —servicios ambientales—. Tanto las áreas destinadas para la agricultura, cría de animales y vivienda, como las porciones ocupadas con bosque, cuyo destino final es la producción de madera y servicios ambientales, son espacios importantes para preservar los rasgos socioculturales de las familias rurales mexicanas.

³ En el ejido la organización social de las familias campesinas e indígenas ha favorecido el establecimiento y manejo de plantaciones forestales, cuyo producto final es la comercialización de “arbolitos de Navidad”.

Spurr & Barnes (1982, citados en García, 2015) señalan que, hasta antes del siglo xx, en todo el mundo, tanto los pueblos primitivos como los más civilizados, no se cuestionaban acerca de la quema de los bosques y, en consecuencia, no se buscaba ni se intentó extinguir los incendios, ya sea que fueran originados por los seres humanos o por fenómenos naturales. En todo el mundo, los incendios se utilizaron durante miles de años para despejar la maleza, mejorar las pasturas, combatir los insectos, haciéndolo deliberadamente por comodidad o hasta accidentalmente, lo que quizá era motivado por el hecho de que las sociedades no tenían intenciones de realizar cambios radicales y permanentes en el uso del suelo, sino aprovechar los recursos naturales y el espacio desde una dimensión integral, a través de sistemas similares a la agroforestería.

En el bosque ya establecido o en crecimiento, el incendio representa una perturbación que puede irrumpir y alterar drásticamente el desarrollo de la masa arbolada existente y, desde el punto de vista de la opinión pública, puede ser una amenaza desastrosa para el bosque, la vida humana y las propiedades, ya que destruye los árboles, promueve la erosión y las inundaciones, deteriora el hábitat de los animales y a menudo quema los nidos y elimina la fauna (Spurr & Barnes, 1982, citados en García, 2015). El fuego, en función de su magnitud y de su uso inducido, es un factor que puede afectar el grado de cobertura arbolada, o incluso poner fin a la continuidad de este recurso en ciertas zonas, lo que significaría un cambio de uso del suelo, si acaso —como mencionó Clout (1976)— un número considerable de generaciones decidiera colonizar ese espacio asignándole un uso distinto al de su vocación natural.

Algunas familias han establecido cultivos anuales al interior de los bosques, afectando al grado de cobertura arbolada y creando un mosaico de zonas arboladas contiguas a espacios agrícolas. Éste podría ser considerado como un caso en el cual la conquista del espacio agrícola es parcial, ya que no desaparece en su totalidad la cubierta arbolada. No obstante, en situaciones más severas queda de manifiesto el proceso de cambio de uso del suelo en su forma más radical, donde a menudo el campo cultivado alcanza el carácter de auténtica creación de la población agrícola, y la ruptura con el medio natural parece definitiva. Incluso, ahí también, la microtopografía resulta transformada por el acondicionamiento de las vertientes del terreno en terraplenes, y por la organización de la conducción de aguas adoptada en vista a los cultivos seleccionados. De la noción de espacio agrícola se pasa a la de paisaje rural, y, en casos como este, la roturación del terreno se confunde con el acondicionamiento del espacio (George, 1974, citado en García, 2015).

El proceso de cambio de uso de suelo también obedece al interés de la cría de animales domésticos. Así, convertir la vegetación arbórea en pastos, con frecuencia a través de los incendios, resulta más fácil e implica menos modificaciones

del paisaje natural. Los pastos son una fase intermedia entre bosques y tierras cultivadas (George, 1974, citado en García, 2015). Los ejidatarios crían animales haciendo uso de las zonas de pastos existentes, actividad que representa un complemento en la economía familiar. Sin embargo, desde el punto de vista ecológico y ambiental, puede ser un detonante de otros procesos. George (1974) señala que la creación del espacio agrícola a partir de superficies naturalmente impropias para la vegetación y la cría de animales requiere de la aplicación de técnicas complejas y de la inversión de fuerza de trabajo, tanto en el momento de pasar del estado estéril del terreno al productivo, como durante el proceso de producción en sí, incremento que se hace necesario para mantener y conservar la conquista lograda.

Se ha demostrado cómo la apertura o abandono de tierras agrícolas, el pastoreo trashumante, la dinámica de las áreas urbanas, y la actividad silvícola, son factores que pueden ocasionar impacto sobre algunos elementos ambientales, concretamente en el bosque y en su grado de cobertura arbolada, resaltando de esta manera la interrelación establecida entre la sociedad y el ambiente —mediante la cual ambos se influyen— y que constituye una de las premisas fundamentales de la geografía ambiental (Reboratti, 2011).

Es probable que los procesos de cambio de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada que ocurrieron en el ejido formen parte, en mayor o en menor grado, de la crisis ambiental; ya que, si bien la superficie arbolada ha incrementado durante el período 1989-2012, otros elementos ambientales como el suelo, la biodiversidad y el agua, pueden estar manifestando procesos de degradación. La crisis ambiental global incluye conflictos que pueden ser definidos como “socioambientales”; esto es, conflictos que se generan en la sociedad a partir de la detección de modificaciones en el ambiente, que a su vez impactan socialmente (Reboratti, 2011). El aprovechamiento forestal maderable en el ejido, y que impacta de manera positiva o negativa la modificación de la cubierta arbolada, puede ser motivo de conflictos, o bien, coadyuvar a la solución de éstos.

McKall (2011, citado en García, 2015) refiere que las tierras forestales —y la gente que las puebla— enfrentan presiones externas crecientes, como pueden ser la expansión de las áreas urbanas, el cultivo y pastoreo por parte de otros grupos sociales, la acelerada explotación de madera principalmente para mercados externos, la deforestación, degradación y explotación no sustentable de los recursos forestales, la construcción de caminos, entre otras. Lo anterior, puede originar conflictos socioambientales. Las comunidades forestales y los pueblos rurales están más vinculados a sus paisajes y sus recursos naturales que el resto de los pobladores, en términos de la dependencia en los productos forestales o sistemas pastoriles. Esto tiene una implicación positiva que ha generado un conocimiento basado en las necesidades, de gran riqueza y profundidad sobre el medio físico de contexto, el

espacio y el manejo de los recursos naturales, que puede ayudar a evitar o solucionar los conflictos. En muchas situaciones, es potencialmente más probable que los habitantes locales realicen un mejor manejo de sus territorios y fuentes de recursos naturales que cualquier otro actor social externo.

En veintitrés años, los principales cambios en la cubierta del terreno del ejido mostraron un incremento significativo de la superficie arbolada, mientras que las zonas agrícolas y las de vegetación arbustiva presentaron las pérdidas más importantes. En el componente vegetación arbustiva, la mayor parte de esta cubierta fue incorporada a la categoría forestal arbolada, mientras que las áreas de asentamientos humanos con monocultivo de árboles fueron expandidas a costa de la superficie agrícola. Los programas de manejo forestal desarrollados en el ejido desde el año 1995 han motivado a la conservación y a la expansión de las áreas arboladas, mientras que el incremento poblacional ha generado una mayor demanda de espacios para la vivienda, y los terrenos agrícolas han sido una primera opción para la creación de nuevos asentamientos humanos. Asimismo, se han establecido monocultivos de árboles en terrenos que en épocas pasadas eran destinados a la siembra de maíz y avena, lo cual ha fomentado la búsqueda de la diversificación productiva.

La disminución del terreno destinado a la siembra ha impactado en la cultura de las familias, pues de 1989 al 2012 se perdió una cantidad importante de superficie dedicada a la producción de alimentos para la población local y los animales domésticos —en su mayoría ovinos—, en la que se cultivaba maíz para grano y forraje y avena forrajera, lo que implica que la población local demande en la actualidad una mayor cantidad de estos productos a través de su adquisición; o bien, que implemente nuevas técnicas para producirlos (García, 2015).

Considerando que las cosechas de maíz y avena son empleadas para complementar la alimentación y el ingreso económico, algunos ejidatarios han optado por arrendar sus parcelas a empresas dedicadas a la producción de árboles con fines ornamentales —árboles de Navidad—, obteniendo con ello una mayor estabilidad económica por un período de tiempo de al menos cinco años, al firmar contratos de arrendamiento.

El incremento de la superficie con monocultivos de árboles con fines ornamentales es otro factor que ha impactado en la identidad cultural de la población otomí. Estas plantaciones han sido desarrolladas en terrenos antes dedicados al cultivo de maíz y avena de temporal, en los que a pesar de obtener bajos rendimientos de cosecha, debido a que los suelos no son de aptitud agrícola, los campesinos contribuían al abasto de los alimentos que representan parte esencial de la identidad cultural de sus familias. En la actualidad, casi cuarenta hectáreas se encuentran ocupadas por plantaciones de árboles de ornato, diversificando al mismo tiempo las actividades productivas y empleos.

En la zona aledaña a la localidad de El Pedregal el panorama agrícola es peculiar. Esta localidad presenta condiciones ecológicas distintas a las del resto del ejido, propicias para el desarrollo de la agricultura de riego con cultivos propios de la región, tales como haba, chícharo, maíz y avena. El agua requerida para el riego es obtenida del río La Cascada. La comunidad presenta una menor superficie de bosque en comparación con el resto del núcleo agrario, por ello los pobladores han dispuesto durante el período 1989-2012 de una mayor superficie agrícola. En ella, el clima, la topografía, el tipo de suelo y una mayor disponibilidad de humedad favorecen el establecimiento de cultivos (García, 2015).

La categoría forestal arbolada constituye la cubierta con mayor ocupación del terreno y en términos absolutos representó la mayor ganancia en superficie. Este incremento se debió principalmente a la incorporación al uso forestal de terrenos ocupados con vegetación secundaria, lo que fue promovido en un grado significativo por los programas de manejo forestal implementados a través de actividades de restauración del suelo y de la vegetación. Este hecho revela un cambio cultural en sus habitantes, quienes por más de dos décadas han generado impactos socioeconómicos, culturales y ecológicos a través del manejo de sus bosques, encontrando alternativas productivas en la silvicultura (García, 2015).

Otro proceso de recuperación de la vegetación se observó en la zona cercana a la localidad de El Pedregal, a través del incremento del grado de cobertura arbolada. Este cambio se debe a que, pese a ubicarse en un área natural protegida donde la legislación forestal y ambiental permite el aprovechamiento maderable bajo la modalidad persistente, la superficie arbolada de esta porción territorial permaneció excluida de las áreas de producción definidas en los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de los recursos implementados en el ejido. Un factor asociado con la exclusión es la existencia de bosque de encino-pino que para el año 1989 era clasificado en la categoría de bosque abierto. Las especies de encino (*Quercus spp.*) y la especie de pino (*Pinus teocote*) allí presentes tienen una menor demanda en el mercado forestal. Las condiciones topográficas de esta porción ejidal dificultan el proceso de abastecimiento forestal, incrementando con ello los costos de extracción de la madera y repercutiendo en la rentabilidad del aprovechamiento del bosque.

Las especies arbóreas dominantes en los bosques y la existencia de áreas naturales protegidas condicionan los cambios en el grado de cobertura arbolada. Esta variable tuvo en general un cambio de abierto a cerrado, y el proceso ha sido más evidente en el ANP (ZPFCRVBAMTT). En esta porción del ejido se ha desarrollado la actividad del manejo forestal desde 1995. El programa de manejo establece lo siguiente: "Podrán realizarse actividades de aprovechamiento maderable controlado, la reforestación y el fomento del establecimiento del renuevo

natural, la prevención y el control de incendios, plagas y enfermedades forestales, la vigilancia y protección de los recursos forestales, la restauración de áreas forestales degradadas y la promoción de la cultura ambiental". De esta manera, zonas arboladas sometidas a cortas silvícolas entre 1989 y 2012 han sido ulteriormente reforestadas; o en su caso, el renuevo del arbolado que de forma natural se establece posterior a las cortas ha sido protegido contra el pastoreo y los incendios.

Los bosques de condición abierta del ejido, situados al interior del ANP (APFFNT), también presentaron cambios a condición de cobertura cerrada. Estos bosques, a diferencia de los ubicados en ANP (ZPFCRVBAMTT), no estuvieron en régimen de aprovechamiento maderable. De este modo, la conservación y la recuperación de la cubierta vegetal pudieron estar motivadas por la cultura forestal promovida entre los locales durante las últimas dos décadas, incentivada también por el pago de servicios ambientales-hidrológicos que ofrecen los gobiernos federal y estatal a ejidos y comunidades forestales que poseen bosques en estado de conservación con coberturas de copa mayores a 80 %, característica que deben preservar durante al menos un período de cinco años (Valdez *et al.*, 2006, citados en García, 2015).

Los procesos de cambio de uso del suelo en el ejido transforman el paisaje rural de dos maneras: la primera de ellas, relacionada con la conversión de terrenos agrícolas a zonas urbanas, ocurre de forma repentina conforme se va cubriendo la demanda de espacios para satisfacer las necesidades de vivienda. En este caso la cubierta del terreno y el uso del suelo son modificados de forma radical. La segunda, está asociada con procesos de cambio gradual. En los terrenos agrícolas que han sido convertidos a monocultivo de árboles, el cambio se manifiesta durante el período de aproximadamente seis años en que culmina el desarrollo de la plantación de árboles de ornato, algo semejante a lo que ocurre en las áreas forestales cubiertas con vegetación secundaria que, mediante las reforestaciones o la regeneración natural del bosque, con el paso del tiempo se van poblando nuevamente (García, 2015).

El desarrollo urbano, la diversificación de las actividades económicas y sus técnicas de producción, la introducción de nuevos cultivos agrícolas, el manejo forestal, y los rasgos socio-organizativos y culturales han condicionado los cambios de uso del suelo y de grado de cobertura arbolada. Los procesos han impactado de manera positiva al ambiente, y en otros casos, en que se ha presentado la disminución de la superficie destinada a la producción de alimentos como el maíz, impactan y provocan efectos negativos en la identidad cultural mesoamericana. El logro de la sustentabilidad ambiental sigue siendo un reto, pues, aunque el estado de los recursos naturales es aceptable, un sector importante de la población manifiesta carencias en sus condiciones de vida, expuestas a través del alto grado de marginación.

Con relación al uso de geotecnologías para analizar el cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada, desde hace varias décadas se han empleado las herramientas que se comentarán a continuación. Clark (1968, citado por Clout, 1976) dice que se puede obtener información diversa para identificar las variaciones del uso de la tierra. Este autor empleó una lista de fotografías aéreas, mapas topográficos y hojas especiales, mostrando el uso de la tierra, la geología y vegetación, y menciona que estas herramientas constituyen una valiosa fuente de información para analizar las variaciones espaciales y las características del paisaje. Diversos autores refieren que la diversidad de imágenes obtenidas desde plataformas satelitales permite analizar el territorio desde una perspectiva más completa. La variedad de resoluciones espaciales hace posibles estudios a diferentes escalas, mientras que la información espectral posibilita la caracterización de espacios o unidades de paisaje. La dinámica de cambios, condicionada por el alto ritmo de desarrollo dentro de diversos ámbitos sociales, crea la necesidad de aplicar técnicas y métodos para la actualización cartográfica de diversos lugares; como en este caso, donde se analizó la dinámica de cambio de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada (Ruiz *et al.*, 2007, citados en García, 2015).

En la localidad objeto de la investigación, a través de la asociación de fundamentos de la teoría de sistemas complejos, la geografía rural, ecología cultural, ecología forestal y geografía ambiental, y con la ayuda de herramientas geotecnológicas, fue posible entender y analizar los factores que influyen en los procesos de cambio de uso de suelo y de grado de cobertura arbolada.

Fotografía 3. Camino de acceso a la comunidad Hacienda Nueva (izquierda). Participación de la población en la reforestación de un bosque de pino en la comunidad de Hacienda Nueva (derecha). Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México, 2013.



Fuente: García (2015).

Fotografía 4. Fomento de la cultura forestal en la población escolar. Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México, 2013.



Fuente: García (2015).

Bibliografía

- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio de uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82, 361-374.
- Alvarado, M. (2003). La ecología cultural y la valoración del sujeto en Latinoamérica. *Revista de Antropología experimental*, 3, 1-10.
- Álvarez, P. (2012). Aplicaciones de geomática para la toma de decisiones. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 3(1), 90-99. Consultado el 15 de marzo de 2019 en: http://www.inegi.org.mx/RDE/RDE_05/Doctos/RDE_05_opt.pdf.
- Antonio N., Treviño, E., & Jurado, E. (2008). Fragmentación forestal en la subcuenca del río Pílon: diagnóstico y prioridades. *Madera y Bosques*, 14(3), 5-23.
- Ávila, H. (2010). *La Geografía Rural en México. Antecedentes y desarrollos recientes*. En D. Hiernaux (director), *Construyendo la Geografía Humana. El estado de la cuestión desde México*. México: Anthropos editores-UAM Iztapalapa.
- Ávila, H. (2015). Tendencias recientes en los estudios de geografía rural. Desarrollo teórico y líneas de investigación en países de América Latina. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 88, 75-90. DOI: [dx.doi.org/10.14350/riig.44603](https://doi.org/10.14350/riig.44603)
- Barnes, B., Zak, D., Denton, S., & Spurr, S. (1998). *Forest Ecology (4a ed.)*. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore and Toronto: John Wiley & Sons, Inc.
- Bassols, Á. (1980). *Geografía económica de México. Teoría, fenómenos generales, análisis regional*. (4a ed.). México: Trillas.
- Begon, M., Harper, J., & Townsend, C. (1995). *Ecología*. España: Ediciones Omega, S. A.
- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. (2000). La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 44, 18-38.
- Bocco, G., Velázquez, A., & Torres, A. (2000). Ciencia, comunidades indígenas y manejo de recursos naturales. Un caso de investigación participativa en México. *Interciencia* 25(2), 64-70.
- Bocco, G., Mendoza, M., & Velázquez, A. (2001). Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping—a tool for land use planning in developing countries. *Geomorphology*, 39, 211-219.
- Bocco, G., & Urquijo, P. (2010). *La geografía ambiental como ciencia social*. En A. Lindón Villoria & D. Hiernaux (eds.), *Los giros de la geografía humana: Desafíos y horizontes* (pp. 259-270). Ciudad de México: ANTHROPOS-UAM.

- Bocco, G., Urquijo, P., & Vieyra, A. (coord.) (2011). *Geografía y ambiente en América Latina*. México: CIGA, UNAM; INE-SEMARNAT.
- Bocco, G., & Urquijo, P. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y Sociedad*, xxv (56), 75-101. Consultado el 17 de abril de 2017 de: <https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=10225596001>.
- Briassoulis, H. (2019). *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*. USA. Regional Research Institute, West Virginia University. Editado por Scott Loveridge and Randall Jackson. Consultado el 15 de marzo de 2020 en: <https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book/3>
- Buendía, E., Terrazas, S., & Vargas, E. (2002). Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de uso de suelo y vegetación en una región del Oriente del Valle de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8(1), 13-19.
- Burrough, P. (1994). *Accuracy ad-error GIS*. En D. Green & D. Rix (eds.). *The AGI sourcebook for geographic information systems 1995* (pp. 87-91). Londres: AGI.
- Camacho, J., Juan, J., Franco, R., Gutiérrez, J., Pineda, N., Campos, J., Antonio, X., & Balderas, M. (2011). Procesos y cambios de ocupación del suelo en un espacio geográfico de México. 1976 y 1993. *Mapping Centroamérica y el Caribe* (2), 62-67. Consultado el 20 de junio de 2014 en: https://www.academia.edu/29112227/Procesos_y_cambios_de_ocupacion_del_suelo_en_un_espacio_geografico_de_Mexico_1976_y_1993
- Camacho, J., Juan, J., & Pineda, N. (2014). Modelado de cambios de cobertura y uso del suelo: escenarios prospectivos en el Estado de México. Estudio de Caso Amanalco de Becerra. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 21(2), 203-220. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2014.10.049
- Camacho, J., Juan, J., Franco, R., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L. & Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112. DOI: 10.21829/myb.2015.211435.
- Cantín, G., Ordenes, Z., Quijada, C., & Rodríguez, A. (2003). *Fragmentación del hábitat y su efecto de borde en el bosque templado chileno*. Organización INACAP-TEMUCO. Ingeniería de Recursos Naturales en Ejecución Forestal. Chile.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CESPEDES-EMDA, 2002). *Deforestación en México: causas económicas e incidencias en el comercio internacional*. México.
- Centro Internacional de Estudios Interdisciplinarios (CIESI, 2013). Consultado el 15 de abril de 2017 en: <http://www.ciesi.org/index.php/et-desarrollo-sostenible/ecologia-forestal.html>.

- Champo, O., Valderrama, L., & España, M. (2012). Pérdida de cobertura forestal en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, Michoacán, México (2006-2010). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(2), 143-157. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2010.09.074
- Chávez, M. (1998). Etnobotánica de San Jerónimo Boncheté México. *Cuadernos de Cultura Universitaria*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Chuvieco, E. (2008). (3a ed.). Barcelona, España: Editorial Ariel S. A.
- Clout, H. (1976). *Geografía rural. Elementos de geografía*. España: Oikos-Tau, S. A. Ediciones.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2008). *Programa Nacional Forestal 2007-2012*. México.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2010a). *La situación demográfica en México 2011*. Primera edición. México: CONAPO.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2010b) *Índice de marginación por localidad 2010*. Consultado el 10 de mayo de 2018 en: http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010.
- Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA, 2010). *Atlas de Infraestructura y Patrimonio Cultural de México*. Consultado el 12 de mayo de 2020 en: <http://sic.gob.mx/atlas2010/fo/ATLAS-1a-parte.pdf> (2020.0330)
- Cortina, V., Macario, P., & Ogneva-Himmelberguer, Y. (1998). Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (38), 41-56. Consultado el 10 de mayo de 2020 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46111999000100005&lng=es&nrm=iso
- Dvorak, W., Donahue, J. (1992). *CAMCORE. Cooperative Research Review 1980-1992*. EE.UU.: Raleigh N.C: Department of Forestry, College of Forest Resources, North Carolina State University.
- Eastman, R. (2012). IDRISI Taiga: Guide to GIS and image processing. Manual version 16.02. EE.UU.: Clark University.
- Food and Agriculture Organization (FAO, 1995). *Planning for Sustainable Use of Land Resources*. FAO Land and Water Bulletin 2. Roma: FAO.
- Franco, S., Regil, H., González, C., & Nava, G. (2006). Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el período 1972-2000 (parte B). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (61), 38-57. Consultado el 12 de abril de 2018 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112006000300004&lng=es&nrm=iso

- García, E. (1986). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Ciudad de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, R., Tulla i Pujol, A. & Valdovinos, N. (1995). *Geografía Rural*. Número 10. España: Editorial Síntesis, Colección Espacios y Sociedades.
- García, R. (2006) *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- García, G. (2015). *Cambio de uso del suelo y grado de cobertura arbolada en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México: 1989–2012*. Tesis de Maestría en Análisis Espacial y Geoinformática. Toluca, México: Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México.
- García, G., Soca, J., Aguilar, W., Flores, J. & Fernández, Y. (2020). Cambio de uso del suelo en la Zona Sujeta a Conservación Ecológica Reserva Cuxcal, Mérida Yucatán, México. *Investigaciones Geográficas* 101. DOI: [dx.doi.org/10.14350/rig.59895](https://doi.org/10.14350/rig.59895)
- George, P. (1974). *Geografía Rural*. La geografía y sus problemas. Barcelona: Editorial Ariel, colección Elcano.
- Gobierno del Estado de México (GEM, 1995). *Programa de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México*. Metepec, México: PROBOSQUE.
- Gobierno del Estado de México & García, G. (GEM-García) (2008) *Programa de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables (Nivel Avanzado) en el Ejido Agua Bendita, Municipio de Amanalco, Estado de México*. Metepec, México: PROBOSQUE.
- González, A. (1997). La influencia de la antropología estadounidense en México: el caso de la ecología cultural. En R. Mechthild & C. Serrano (eds.) *Ciencia en los márgenes* (pp.167-188). Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- González, E. & Sotolongo, R. (2003). *Ecología Forestal*. México.
- Goodchild, M., Gouquing, S. & Shiren, Y. (1992). Development and test of an error model for categorical data. *International Journal of Geographical Information Systems* 6(2), 87-104. Consultado el 20 de mayo de 2020 en: <http://www.geog.ucsb.edu/~good/papers/168.pdf>
- Halffer, G. (1978). Un patrón de dispersión en la Zona de Transición Mexicana: el mesoamericano de montaña. *Folia Entomológica Mexicana*, 39-40, 219-222.
- Hernández, J., Pérez, J., Rosete, F., Villalobos, M., Méndez, A., & Navarro, E. (2017). Clasificación geomorfométrica del relieve mexicano: una aproximación morfológica por densidad de curvas de nivel y la energía del relieve. *Investigaciones geográficas*, 94. DOI: [http://dx.doi.org/10.14350/rig.57019](https://doi.org/10.14350/rig.57019).

- Hesterberg, D., Stigliani, W., & Imeson, A. (eds.). (1992). *Chemical Time Bombs: Linkages to Scenarios of Socio-economic Development*. Executive Report 20 (CTB Basic Document 2), Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Higuera, A. (2003). *Teoría y método de la geografía: Introducción al análisis geográfico regional*. España: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Humacata, L., Lara, B., Beltrán, C., & Cantarelo, C. (2019). Análisis espacial de cambios de usos del suelo en la Cuenca del Río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina), en el periodo 1990-2010. Perspectiva inicial y aplicación geotecnológica. *Anuario de la división Geografía*, 13, 128-145.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2001) *Síntesis de Información Geográfica del Estado de México*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2002). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación serie III escala 1 250 000*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2009). *Sistema de información de la cobertura de la tierra SICT*. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010a). *Censo de población y vivienda 2010*. Consultado el 10 de mayo de 2019 de: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010b). *Marco geoestadístico estatal*. México: INEGI.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2000). *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry, 2.2.1.1 Land Use*. Consultado el 20 de abril de 2019 de: <https://www.grida.no/climate/ipcc/support/about.htm>
- Jensen, J. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. (2a. ed.). N.J. EE.UU.: Prentice-Hall. Upper Saddle River.
- Johnston, R. (2000). *Human Geography*. En R. Johnston, D. Gregory, G. Pratt, & M. Watts, (coords.), *The Dictionary of Human Geography* (pp. 353-360). Malden: MA, Blackwell.
- Juan, J. (2013). Análisis del cambio de uso del suelo en una región del Altiplano Mexicano, Retos e impactos: 1986-2011. *OIDLES*, 7(13). Consultado el 18 de junio de 2020 de: <http://www.eumed.net/rev/oidles/13/cambio-uso-suelo.html>.
- Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., Brevik, E., & J. Aitkenhead (2016). Assessment and monitoring of soil degradation during land use change using multivariate analysis. *Land Degradation & Development*, 28, 128-141. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2541>
- Kirchhoff, P. (2000). *Mesoamérica. Dimensión Antropológica*, 19, 15-32. Consultado el 3 de mayo de 2020 de: <http://www.dimensionantropologica.inah.gob.mx/?p=1031>. (2020.03.15).

- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E., Mortimore, M., Ramakrishnan, P., Richards, J., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G., Svedin, U., Veldkamp, T., Vogel, C., & Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11(4): 261-269. DOI: 10.1016/S0959-3780(01)00007-3
- Lambin, E., Helmund, G., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Reviews Environment Resource*, 28, 205-241. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Lira, J. (2010). *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales*. (2a ed.). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Llorente, M. (2002). *Formaciones superficiales. Resumen del manual de Edafología*. España: Universidad de Salamanca.
- Lovera, V., Torres, P., Roldán, I., & Sánchez, J. (2019). Aptitud del paisaje para turismo de naturaleza y cambios de uso de suelo y vegetación. Estudio comparativo de 1994 y 2016 en Valle de Bravo, Estado de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 19 (38), 33-58. Consultado el 15 de abril de 2020 de: <https://www.researchgate.net/publication/339987859>
- Luneta, R., Congalton, R., Fernstermarker, L., Jensen, J., McGw, K., & Tinney, L. (1991). Remote sensing and geographic information systems data integration: error sources and research issues. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57 (6), 677-687. Consultado el 10 de mayo de 2020 de: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1991journal/jun/1991_jun_677-687.pdf
- McKall, M. (2011). *Mapeando el territorio: paisaje local, poder local*. En G. Bocco, P. Urquijo & A. Vieyra (coords). *Geografía y ambiente en América Latina* (pp. 221-246). Morelia: CIGA-INE.
- Margalef, R. (1995). *Ecología*. Barcelona, España: Ediciones Omega, S. A.
- Mas, J., Reyes, J., & Pérez, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* (51), 53-72.
- Mas, J., & Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico*, 5(1), 1-24. Consultado el 12 de abril de 2020 de: http://www.geotropico.org/NS_5_1_Mas-Flamenco.pdf
- Mas, J., & Couturier, S. (2011). *Evaluación de bases de datos cartográficas*. En F. Bautista, (ed.) *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. México: CIGA, IG.
- Marsh, G. (1965). *Man and Nature: Or, the Earth as Modified by Human Action*. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press.

- Mateo, J. (2002). *El mundo en el siglo XXI y los desafíos para la geografía*. Facultad de Geografía. Universidad de La Habana.
- McHarg, I. (1969). *Design with Nature*. New York: American Museum of Natural History Press.
- Menor, J. (2000). Reflexiones en torno a los modelos productivista y postproductivista en la Vega de Granada. *Cuadernos Geográficos*, (30) 415-427.
- Meyer, W. & Turner, B. (1996). Land-Use/Land-Cover Change: Challenges for Geographers. *Geojournal*, 39(3), 237-240.
- Millington, A. & Alexande, R. (2000). Vegetation mapping in the last three decades of the twentieth century. In: A. Millington y R. Alexander (eds.). *Vegetation mapping* (pp. 321-331). Inglaterra: John Wiley y Sons, Chochester.
- Milton, K. (1996). *Ecología: antropología, cultura y entorno*. Consultado el 12 de mayo de 2020 de: www.universidaddur.edu.uy
- Miranda, Z. (2008). *El conocimiento tradicional y la propuesta de educación y cultura ambiental en la gestión ejidal ecoturística del Parque Ecoturístico San Nicolás Totolapan, Ciudad de México*. Tesis de Doctorado. México: División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco.
- MOPE, (2002). *Nepal: National Action Programme on Land Degradation and Desertification in the Context of the UN Convention to Combat Desertification*. Kathmandu, Nepal: Ministerio de Población y Medio Ambiente.
- Morán, E. (2000). *Human adaptability. An introduction to ecological Anthropology*. EE.UU.: Boulder Westview Press.
- Moser, S. (1996). A Partial Instructional Module on Global and Regional Land Use/Cover Change: Assessing the Data and Searching for General Relationships. *Geojournal* 39 (3), 241-283.
- Nájera, O., Bojórquez, J., Cifuentes, J., & Marceléño, S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la Cuenca del Río Mololoa, Nayarit. *Biociencias*, 1 (1), 19-29.
- Odum, E. (1986). *Ecología*. (3a. ed.). Edición Revolucionaria (primera edición cubana). La Habana, Cuba: Instituto del Libro.
- Odum, E. & Barrett, G. (2006). *Fundamentos de ecología*. México: Thomson.
- Olivares, B., López, M. & Lobo, D. (2019). Cambios de uso del suelo y vegetación en la comunidad agraria Kashaama, Anzoátegui, Venezuela: 2001 – 2013. *Revista geográfica de América Central*, 63 (2), 224-246. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.63-2.10>
- Oyama, N. (2010). *Documentan en la UNAM importancia ecológica del encino*. *Boletín UNAM-DGCS-765*. Consultado el 13 de mayo de 2019 de: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2010_765.html.

- Palacios, O. & Escobar, B. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y ciencias del agua*, 7 (2), 5-16.
- Palomeque, M., Galindo, A., Escalona, M., Ruiz, S., Sánchez, A. & Pérez, E. (2017). Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XXIII (1), 105-120. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2016.03.018.
- Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE, 2008). Programa pago por servicios ambientales. Resultados convocatoria 2008. México.
- Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE, 2010). Inventario forestal 2010. México: Secretaría de Desarrollo Agropecuario.
- Reboratti, C. (2011). Geografía y ambiente. En G. Bocco, P. Urquijo & A. Vieyra (coord.). *Geografía y ambiente en América Latina* (pp. 21-44). México: CIGA, UNAM, INE-SEMARNAT.
- Regil, H. & Franco, S. (2009). Nivel de adecuación del territorio para el desarrollo de especies agrícolas y forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Economía, Sociedad y Territorio*, 9 (31), 803-830. Consultado el 15 de junio de 2020 de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212009000300008&lng=es&tlng=es.
- Restrepo, L. (2002). *Ecología Humana, una estrategia de intervención cultural*. Bogotá, Colombia: San Pablo.
- Ruiz, L., Rey, A., Estornell, J. & Ruiz, R. (2007). La Teledetección como herramienta de análisis del crecimiento urbano y su representación en 3D. *ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno*, 2 (4).
- Sala, O. (2008). *El cambio en el uso del suelo es la principal amenaza ambiental*. Consultado el 12 de mayo de 2018 de: <http://www.publico.es/ciencias/60928/el-cambio-en-el-uso-del-suelo-es-la-principal-amenaza-ambiental>.
- Samek, V. (1970). *Ecología Forestal*. La Habana, Cuba: Impresora Universitaria "Andre Voisin", Universidad de la Habana, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Agronomía, Folleto mimeografiado.
- Sánchez, Á. (2002). Casualidad, cultura y naturaleza: una reflexión acerca de La teoría del cambio cultural de Julian Steward. *Nueva antropología*, 60, 121-124.
- Sandoval, E. (2005). Cultura y organización social en los indígenas mexiquenses. México: Universidad Autónoma del Estado de México. Unidad de Apoyo a Estudiantes Indígenas, UAEM.
- Sauer, C. (1925). *The morphology of landscape*. Berkely: University of California, Press.
- Sauer, C. (1940). *Hacia una geografía histórica*. Asociación Norteamericana de Geógrafos. Louisiana: Baton Rouge.
- Scherr S. (1999). *Soil Degradation. A Threat to Developing-Country Food Security by 2020?* Washington, D. C. International Food Policy Research Institute.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2010). Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.1_Vegetacion/index.shtml
- Sistema de Información para la Reforestación & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (SIRE-CONABIO). (Sin fecha) *Fichas Técnicas. Paquetes tecnológicos: Pinus teocote*. México.
- Song, W., Deng, X., Song, W. & Xiangsheng, D. (2017). Land use/land-cover change and ecosystem service provision in China. *Science of the Total Environment*, 576, 705-719. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.078> 0048-9697/
- Spurr, S. & Barnes, B. (1982). *Ecología Forestal*. C. Raigorodsky (traduc.). México: AGT Editor.
- Steward, J. (1955). *The concept and method of Cultural ecology*. En J. Steward, Evolution and ecology. EE.UU.: University Illinois Pres.
- Steward, J. (1959). *The concept and method of cultural ecology*. Reading in anthropology, vol. II, Nueva York: Crowell.
- Steward, J. (1972). *Theory of Culture Change. The methodology of multilinear evolution*, EE.UU.: Illinois University Press.
- Stigliani, W. (1991). *Chemical Time Bombs: Definitions, Concepts, and Examples*. Basic Document 1, ER-91-16. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Stora, N. (1994). Cultural Ecology and the Interaction between man and the environmental. En A. Nissinako (ed.) *Cultural Ecology. One Theory?* (pp. 11-23). New York: University of Turku.
- Sutton, M. & Anderson, E. (2010). *Introduction to cultural ecology*. (2a. ed.). Reino Unido: Altamira.
- Theodorson, G. (1974). *Estudios de ecología humana* (1). J. González (traduc.). España: Editorial Labor, S.A.
- Tomé, P. (2005). Ecología Cultural y Antropología Económica. *Relaciones*, XXVI (102), 20-59.
- Tuan, Y. (1977). *Space and Place: The perspective of experience*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Turner, B. & Meyer, B. (1994). *Global Land Use and Land Cover Change: An Overview*. In W. Meyer & B. Turner II (eds.) (pp. 3-10) *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Turner, B., Clark, R., Kates, W., Richards, J., Mathews, J. & Meyer, W. (eds.). 1990. *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Valdez, R., González, M. & Santos, H. (2006). Estimación de cobertura arbórea mediante imágenes satelitales multiespectrales de alta resolución. *Agrociencia*, 40 (003), 383-394.
- Valdez, J., Aguirre, C., & Ángeles, G. (2011). Análisis de los cambios en el uso del suelo en la Cuenca del Río Metztitlán (México) usando imágenes de satélite: 1985-2007. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(3), 313-324.
- Vargas, G. (2012). Espacio y territorio en el análisis geográfico. *Revista Reflexiones*, 91(1), 313-326.
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz, J., Mayorga, R., Alcántara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. & Palacios, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62, 21-37. Consultado el 20 de mayo de 2020 de: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf>
- Veldkamp, A. & Lambin, E. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 1-6.
- Walsh, J., Lightfoot, D. & Buttler, D. (1987). Recognition and assessment of error in geographic information systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53 (10), 1423-1430.
- Wang, J. & Liu, Y. (2013). Tourism-Led Land-Use Changes and their environmental Effects in the Southern Coastal Region of Hainan Island, China. *Journal of Coastal Research*, 29 (5), 1118-1125.
- Xiang, W. & Clarke, K. (2003). The use of scenarios in land use planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30 (6), 885-909.

Sitios electrónicos

- Consejo Estatal para el Desarrollo Integral de los Pueblos Indígenas. <http://www.historia-mexico.info/2011/11/los-otomies.html>
- GreenFacts. Facts on health and the environment.* (2016). Cambios en los Ecosistemas. Consultado el 18 de mayo de 2015 de: <http://www.greenfacts.org/es/ecosistemas/evaluacion-milenio-2/4-factores-cambio.htm>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Marco Geoestadístico Nacional, 2010. Consultado el 18 de mayo de 2018 de: <https://www.inegi.org.mx/> (2).
- Plataforma Google Earth (<http://earth.google.com>). Consultado el 15 de mayo de 2020.
- <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/Topografia/Descarga.aspx>. Consultado el 17 de abril de 2020.
- <http://www.historia-mexico.info/2011/11/los-otomies.html>. Consultado el 15 de mayo de 2020.

<http://sic.gob.mx/atlas2010/fo/ATLAS-1a-parte.pdf>. Consultado el 19 de mayo de 2020.

https://edomex.gob.mx/indigenas_edomex. Consultado el 11 de mayo de 2020.

<https://www.un.org/development/desa/indigenous-peoples-es/historia.html>. Consultado el 15 de mayo de 2020.

Acerca del autor

José Isabel Juan Pérez

El doctor José Isabel Juan Pérez realizó estudios de licenciatura en Geografía y maestría en Ecología en la Universidad Autónoma del Estado de México. Es doctor en Antropología Social por la Universidad Iberoamericana, campus Ciudad de México. Investiga temas de manejo de recursos naturales, procesos socioambientales, geografía ambiental, ecología cultural, geografía del paisaje, resiliencia, impacto ambiental, sustentabilidad y desarrollo humano. Es investigador en el Centro de Investigación Multidisciplinaria en Educación (CIME), de la Universidad Autónoma del Estado de México. Desde el año 2008 es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y ha publicado libros y artículos científicos en editoriales y revistas nacionales e internacionales. Por la calidad de sus investigaciones y publicaciones, ha sido acreedor a reconocimientos nacionales e internacionales.

Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México
Fundamentos teóricos y metodológicos

Elaborado en febrero de 2021.

Las características de México son resultado de la interacción entre las divisiones geográficas y las divisiones de gestión político-administrativas, en asociación con sus condiciones ecológicas. Por supuesto, su situación geográfica y sus relaciones económicas, políticas, demográficas y socioculturales influyen en los procesos de cambio de uso del suelo y la generación de problemas ambientales, por lo que, es importante identificar y analizar estudios de procesos de cambio de uso del suelo, los impulsores que los provocan y las actividades humanas que influyen o determinan tanto su generación, como su intensidad y magnitud.

El estudio de los procesos de cambio de uso del suelo debe sustentarse con fundamentos teóricos; esto con la finalidad de establecer interacción y asociaciones con investigaciones pasadas, enfoques, teorías y conceptos, para analizar de modo coherente los impulsores que provocan cambios de uso del suelo, transformación del paisaje e impacto ambiental.

Los estudios de cambio de uso del suelo reportan, la mayoría de las veces, resultados negativos. Esto quiere decir que, al hacer el análisis de las categorías, clases o coberturas del suelo, se determina que múltiples impulsores y actividades humanas provocan procesos de cambio de cobertura y de uso del suelo. En este libro se presenta un estudio de caso peculiar, del Estado de México, donde los cambios de uso del suelo no son absolutamente negativos y fomentan la transición hacia el desarrollo local sustentable.



ISBN 978-607-437-543-5



9 786074 375435