

Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano

Victor Hugo López Vazquez*, Miguel Angel Balderas Plata*, María Cristina Chávez Mejía*, José Isabel Juan Pérez* y Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo*

Recepción: 9 de enero de 2014

Aceptación: 18 de julio de 2014

*Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correos electrónicos: hugoray23@hotmail.com; mabalderasp@uaemex.mx; cchavez@uaemex.mx; jijp1958@hotmail.com; jggc1321@yahoo.com.mx Se agradecen los comentarios de los árbitros de la revista y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por el apoyo brindado para la realización de esta investigación por medio del proyecto "Cambio de uso de suelo y sus implicaciones para la conservación de la milpa mazahua en el Estado de México" (CB-2009-130012-S).

Resumen. Se analizan los cambios de uso del suelo entre 2000 y 2010 de la región mazahua del Estado de México y sus implicaciones socioeconómicas. El estudio se sustenta en la geografía socioeconómica de Bonfil (1996) y los procesos de cambio de uso del suelo de Fernández y Prados (2010) para evaluar los cambios de uso del suelo. Se utilizó clasificación supervisada de máxima probabilidad y datos socioeconómicos y demográficos. Los resultados de análisis de imágenes fueron verificados mediante recorridos en campo. Los cambios pueden deberse al crecimiento poblacional, en los modos de vida y su consecuente demanda de alimentos y viviendas.

Palabras clave: procesos de cambio, máxima probabilidad, clasificación supervisada.

Land Use Change and its Socio-Economic Implications in the Mazahua Area of the Mexican Highlands

Abstract. This article shows the land use change between 2000 and 2010 in the Mazahua Region of the State of Mexico and its socio-economic implications. The study is based on the socio-economic geography of Bonfil (1996) and the land use change processes by Fernandez and Prados (2010) to evaluate the land use change. Supervised classification of maximum likelihood and socio-economic and demographic data were used. The results of image analysis were verified on the field. These changes may be explained by population growth, livelihoods dynamics, and the consequent increasing demand for food and housing.

Key words: land use change, maximum likelihood, supervised classification.

Introducción

A nivel mundial, regional y local existen diversos factores que influyen en el cambio del uso del suelo, como los ambientales, demográficos, económicos y socioculturales, que en su conjunto llegan a provocar un deterioro ambiental y pérdida de la diversidad biológica (Bocco, 2001). Las investigaciones de los procesos de cambio de uso del suelo (identificación y análisis de los factores e impactos en los ecosistemas),

incluyen además de la caracterización y diagnóstico de las diversas cubiertas (naturales y artificiales), usos del suelo que comprenden un determinado territorio. En la actualidad para este tipo de estudios se ha propuesto el uso de metodologías y procedimientos estadísticos innovadores, que se complementan con técnicas de trabajo de campo, así como el uso y aplicación de herramientas de los denominados sistemas de información geográfica y de cartografía automatizada (Turner y Meyer 1994).

Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos del suelo (Semarnat, 2010). Desde el punto de vista geográfico, los tipos de usos de suelo y su grado de explotación influyen en las variedades del paisaje y al modificarse ocasionan cambios en los usos del suelo; estos cambios se encuentran en el centro de la investigación ambiental actual, debido a las implicaciones que conllevan en relación con la pérdida de hábitat, biodiversidad, bienes y servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas (Fernández Núñez y Prados Velasco, 2010).

Existen diversos métodos y técnicas para el análisis de los procesos de cambio de uso del suelo. El procedimiento más confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es el estudio de la dinámica espacio-temporal de la cubierta vegetal (Berry *et al.*, 1996), o análisis del cambio de uso/coberturas del suelo (Turner y Meyer 1994). Generalmente, los estudios sobre los procesos de cambio documentan las causas que provocan cambios de uso (Bramimoh, 2006), los cuales se fortalecen con el uso de datos estadísticos y se sustentan en la interpretación de matrices, como la tabulación cruzada.

Es necesario aplicar políticas efectivas y eficientes para mantener en condiciones adecuadas los ambientes que actualmente están ocupados con bosques, cuerpos de agua y otras asociaciones de vegetación natural, pues de no aplicar las que son para el manejo sustentable de los recursos naturales, los territorios estarán sujetos a presiones ambientales que provocarán impactos asociados con el cambio climático y a las condiciones de vida de los habitantes que viven tanto en

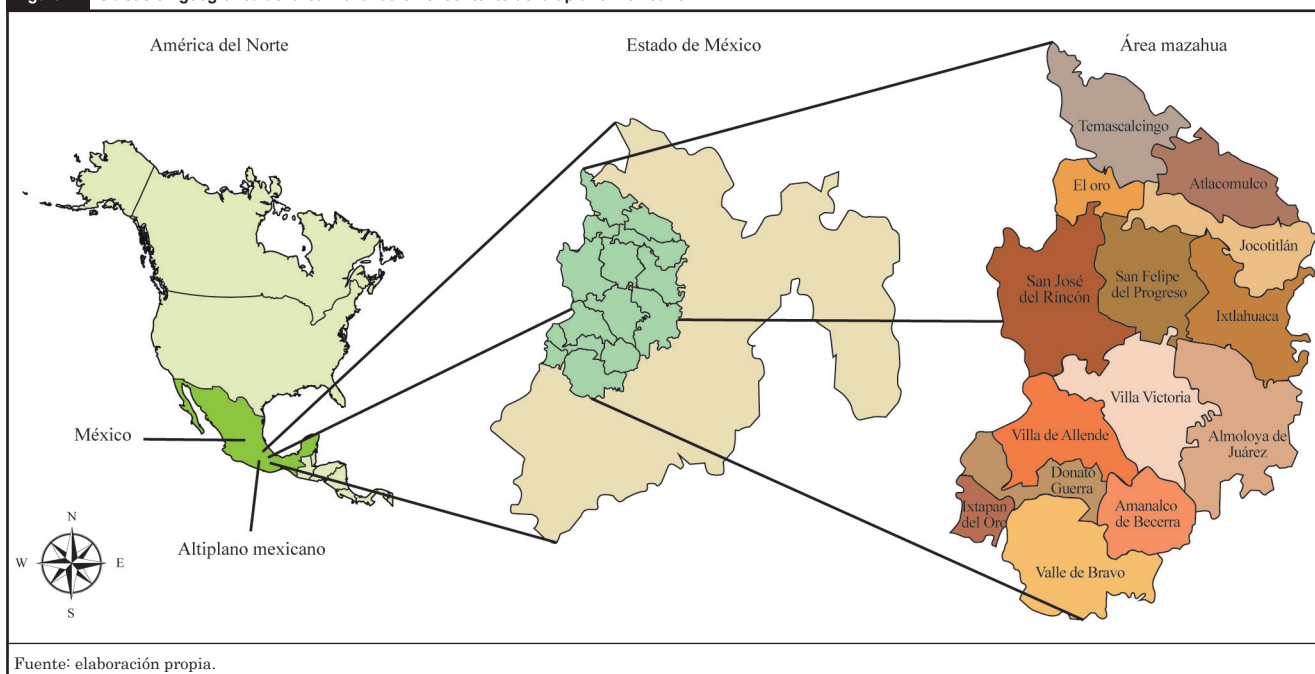
las zonas rurales como en las urbanas. Ante este panorama, es importante identificar y analizar los procesos de cambio de uso de suelo que ocurren al asociar los procesos que inciden en su ocupación actual. Por lo anterior, en este artículo abordamos el caso del área mazahua, que por su ubicación geográfica en el contexto del altiplano mexicano, está sujeto a fuertes presiones demográficas, políticas, económicas y administrativas.

En este trabajo se analizan, identifican, y cuantifica las pérdidas, ganancias y cambios totales entre siete coberturas de uso del suelo presentes: bosque, pastizal, cuerpos de agua, agricultura de riego, agricultura de temporal, asentamientos humanos y suelos desprovistos de vegetación.

Caracterización del área de estudio

La región mazahua o área mazahua en el Estado de México está ubicada en el altiplano mexicano. El estudio se enfoca en los 14 municipios con población mazahua: San Felipe del Progreso, Villa Victoria, San José del Rincón, Donato Guerra, Ixtapan del Oro, Villa de Allende, Almoloya de Juárez, Amanalco, Ixtlahuaca, Temascalcingo, El Oro, Jocotitlán, Atlacomulco y Valle de Bravo, que en lo sucesivo a estos municipios se les refiere como área mazahua. La ubicación de la zona de estudio va de $99^{\circ} 39' 26''$ a $100^{\circ} 20' 10''$ de longitud oeste y de $19^{\circ} 04' 47''$ a $20^{\circ} 03' 20''$ de latitud norte. Este territorio presenta heterogeneidad de condiciones geográficas, ecológicas, ambientales y socioculturales (figura 1).

Figura 1. Ubicación geográfica del área mazahua en el contexto del altiplano mexicano.



El área mazahua está en proceso de cambio, pues se observa un considerable número de asentamientos humanos distribuidos en las áreas rurales y urbanas. En los asentamientos urbanos y rurales viven 1 020 568 habitantes, de los cuales 13.1% pertenece al grupo étnico mazahua (INEGI, 2010).

La subsistencia de las familias mazahuas está asociada con las condiciones ambientales, ecológicas, económicas y geográficas y se sustenta principalmente en la agricultura (cultivo de maíz, frijol, calabaza, chilacayote, papa, chícharo, avena, cebada, trigo y haba, entre otros), cría de animales domésticos (principalmente aves de corral, ovinos, bovinos y équidos), recolección de especies silvestres comestibles; asimismo, obtienen ingresos económicos mediante la elaboración y venta de artesanías y se emplean en el comercio informal, en la industria de la construcción y empleos domésticos en ciudades como México, Toluca, Atlacomulco, Querétaro y Pachuca.

A partir de la década de 1980 en el Estado de México han ocurrido cambios asociados con el uso de recursos naturales, las actividades económicas no sustentables y el establecimiento de amplias zonas residenciales para satisfacer las necesidades de vivienda de los habitantes locales e inmigrantes procedentes de otras áreas rurales y ciudades adyacentes del altiplano mexicano. En esta área, en general, los procesos de cambio de uso del suelo inician con la deforestación para la apertura de áreas agrícolas, continúan con el establecimiento de pastizales, y finalmente el suelo se abandona por causas de erosión o es ocupado para el establecimiento de asentamientos humanos.

En el peor de los casos, un suelo agrícola pasa directamente a asentamientos humanos. Este proceso influye en las condiciones ambientales y bienestar de las familias, tanto del ambiente urbano como del ambiente rural. En los ambientes adyacentes a los asentamientos humanos hay pérdida de áreas forestales transformadas en su mayoría en espacios erosionados y áreas ocupadas con agricultura de temporal o de riego (agricultura comercial tecnificada como

invernaderos). En el área mazahua estudiada se observa que el cambio de uso del suelo es un proceso asociado con la diversificación de las actividades agrícolas no sustentables y el abandono de las tierras y con vocación agrícola (Juan *et al.*, 2006).

Las características de este territorio son resultado de la interacción de las divisiones geográficas naturales, de las divisiones de gestión político-administrativas y de las condiciones geográficas de los municipios que lo integran. La situación geográfica del territorio en el contexto del altiplano mexicano y su cercanía con la Ciudad de México influyen en la generación de problemas ambientales que inciden en el bienestar de la gente. Los problemas más frecuentes son presencia y acumulación de residuos líquidos y sólidos en cuerpos de agua y suelos, azolvamiento de cuerpos de agua que conducen a procesos acelerados de eutrofización, deforestación, incendios forestales, disminución del nivel en los mantos acuíferos, extracción de recursos naturales, plagas y enfermedades forestales, cambios de uso del suelo y procesos erosivos (Juan *et al.*, 2006).

2. Materiales y Métodos

Se utilizaron 3 imágenes satelitales Landsat TM para cada año (cuadro 1), con una resolución espacial de 30 metros, en un sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) y subsecuentemente convertidas a geográficas Lat/Long WGS-84. Para el procesamiento de los datos se realizaron dos mosaicos uno para cada año con imágenes del satélite Landsat TM en el *software* Erdas Imagine 9.1, estas comprendían en su totalidad el área mazahua.

Se definieron las coberturas de interés para el análisis: bosque, pastizal, asentamientos humanos, cuerpos de agua, agricultura de riego, agricultura de temporal, suelos desprovistos de vegetación (tabla 1).

Posteriormente se importaron los mosaicos del 2000 y 2010 al *software* IDRISI Selva 17.0 y se crearon firmas espectrales seleccionando pixeles que representaban los patrones de reconocimiento con base en algunos combinaciones estándar en falso color Red: 4 Green: 3 Blue: 2 y color natural Red: 3 Green: 2 Blue: 1 (Chuvieco, 2002). Usando el procedimiento de detección de cambios basado en clasificación supervisada por el método de máxima probabilidad (maxlike) con el *software* IDRISI Taiga17.0, se hizo una clasificación independiente.

Cuadro 1. Características de las imágenes satelitales utilizadas.

Fecha			Tipo de imagen	Path	Raw	Resolución espacial (m)	Nubosidad (%)	Sun Elevation (°)	Sun Azimut (°)
Día	Mes	Año							
25	Enero	2000	Landsat TM	026	047	30	0	39.78	137.00
1	Febrero	2000	Landsat TM	027	046	30	0	40.00	136.06
1	Febrero	2000	TM	027	047	30	10	40.88	134.98
5	Febrero	2010	TM	026	047	30	0	39.78	137.00
12	Febrero	2010	TM	027	046	30	10	45.31	136.72
24	Noviembre	2009	TM	027	047	30	9	44.46	148.87

Nota: Path (Columna), Raw (Reglón), Sun Elevation (Elevación del sol) y Sun Azimut (Elevación del Azimut). Fuente: elaboración propia con base en metadatos de imágenes TM, USGS (United States Geological Survey, 2012).

Cada imagen fue clasificada por separado tomando en cuenta las categorías de interés para el estudio, a las cuales se les aplicó el método de clasificación supervisada, con la misma leyenda temática para poder compararla posteriormente. Asimismo, el cambio del uso del suelo se examinó mediante tabulación cruzada de las imágenes clasificadas del 2000 y 2010.

Se obtuvieron mapas clasificados de uso del suelo 2000-2010 y también se elaboró una tabulación cruzada y, donde se muestra la superficie y los porcentajes para cada año de uso de suelo, ganancias, pérdidas, persistencia y porcentajes (cuadro 2 y gráfica 1). Posteriormente se realizó una tabulación cruzada del 2000 al 2010; aquí se puede resumir de manera simultánea los datos de superficie para los dos años de análisis que muestran los intercambios en las categorías de análisis entre 2000 y 2010; esta tabulación indica los cambios en cuanto a superficie con la precisión del proceso del módulo Land Change Modeler del software IDRISI Taiga. Después, con la información de la matriz, se calcularon las ganancias, las pérdidas para realizar un estudio detallado de los cambios con las fórmulas propuestas por Pontius *et al.* (2004).

La ganancia (G_{ij}) es la diferencia entre la columna del total del tiempo 1 ($P + j$) y la persistencia (P_{ij}).

$$G_{ij} = P + j - P_{ij}$$

Asimismo, la pérdida (L_{ij}) es la diferencia entre la fila del total del tiempo 0 ($P_j +$) y la persistencia (P_{ij}).

$$L_{ij} = P_{it} + P_{ij}$$

Los totales de categorías representan 100% del área de estudio, además expresan los cambios de manera dispersa y exponen los impactos y

Tabla 1. Coberturas de uso de suelo analizadas en el área mazahua.

Valor	Coberturas	Definición
1	Bosque	Estrato arbóreo cuyas alturas oscilan entre los 15 y 25 m, también plantaciones comerciales para árboles navideños.
2	Pastizal	El pastizal de zonas inundables y el pastizal inducido para ganadería.
3	Asentamientos humanos	Áreas cubiertas por asfalto, concreto, construcciones comerciales e industriales, carreteras, casas habitación, edificios e invernaderos.
4	Cuerpos de agua	Todas las áreas cubiertas con más de 95% de agua, incluye arroyos, ríos, lagos y presas.
5	Agricultura de riego	Aquella donde se suministra agua a los cultivos a través de diversos métodos artificiales de riego.
6	Agricultura de temporal	Aquella donde el ser humano no contribuye con agua, sino que utiliza únicamente la que proviene de la lluvia.
7	Suelos desprovistos de vegetación	Áreas sin vegetación aparente.

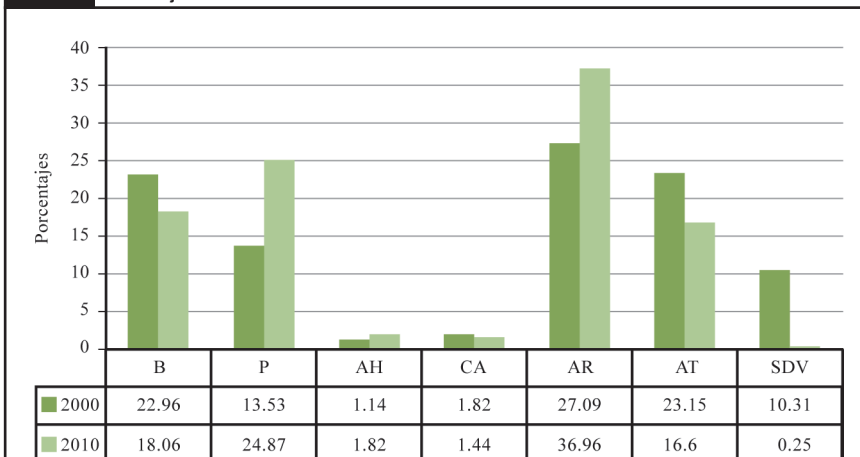
Fuente: elaboración propia. Coberturas de interés en la investigación.

Cuadro 2. Ganancias, pérdidas y persistencia de uso de suelo mediante la modelación de las imágenes TM para el año 2000 y 2010 (Superficie en hectáreas y porcentaje).

Coberturas	2000		2010		Ganancias	Pérdidas	Persistencia
	Superficie	%	Superficie	%			
B	99 687.24	22.96	78 421.5	18.06	5 729.49	26 995.23	72 692.01
P	58 730.04	13.53	107 995.68	24.87	72 507.69	23 242.05	35 487.99
AH	4 969.26	1.14	7 899.3	1.82	6 846.39	3 916.35	1 052.91
CA	7 923.06	1.82	6 250.14	1.44	316.80	1 989.72	5 933.34
AR	117 610.56	27.09	160 484.85	36.96	84 236.67	41 362.38	76 248.18
AT	100 514.70	23.15	72 057.60	16.60	44 330.04	72 787.14	27 727.56
SDV	44 773.74	10.31	1 099.53	0.25	494.10	44 168.31	605.43
Total	434 208.60	100	434 208.60	100			219 747.42

Nota: B = Bosque; P = Pastizal; AH = Asentamientos humanos; CA = Cuerpos de agua; AR = Agricultura de riego; AT = Agricultura de temporal; ADV = Suelos desprovistos de vegetación.
Fuente: elaboración propia con base en los resultados de Land Change Modeler.

Gráfica 1. Porcentajes de cambio en el uso del suelo del área mazahua.



Nota: B = Bosque; P = Pastizal; AH = Asentamientos humanos; CA = Cuerpos de agua; AR = Agricultura de riego; AT = Agricultura de temporal y ADV = Suelos desprovistos de vegetación.
Fuente: elaboración propia con base en los resultados de Land Change Modeler.

consecuencias que han alterado el paisaje del área mazahua en el Estado de México.

También se usó un equipo de medición de precisión Diferencial Global Position System (DGPS), que permitió georreferenciar puntos de verificación en la posición calculada para de verificar los espacios geográficos donde han ocurrido cambios de uso de suelo y evaluar la exactitud de la clasificación. Estos recorridos se realizaron por 25 espacios geográficos aleatorios dentro del área mazahua. Los recorridos se llevaron a cabo de marzo 2011 a febrero 2012 con la finalidad de observar y registrar en distintas épocas del año, los espacios con cambios de uso del suelo, donde se verificaron los resultados obtenidos de las imágenes satelitales observando los cambios a simple vista cercanos en las vías de comunicación, como construcciones en proceso o en obra negra.

Las observaciones y datos obtenidos directamente en el campo de los paisajes del área resultan suficientes para evidenciar que algunos entornos se conservan puramente naturales. Se observaron también los espacios modificados por los habitantes, quienes con base en la posesión de la tierra hacen uso de ella, que resulta en cambio de uso del suelo.

En este sentido se calcularon las tasas de pérdida anual de deforestación (FAO, 1996) y la tasa de crecimiento de población (Maldonado, 2005).

2. 1. Cálculo de la tasa de pérdida anual de deforestación de acuerdo con FAO (1996):

$$r = 1 - \left(1 - \frac{A1 - A2}{A1}\right)^{1/t} \quad r = 1 - \left(1 - \frac{99687.24 - 78421.5}{99687.24}\right)^{1/10}$$

$$R = 1 - (1 - 0.213324594000195)^{0.1} = 1.107920204\%$$

r = Tasa de pérdida anual de deforestación

A1 = es la superficie en el tiempo inicial

A2 = es la superficie en el tiempo siguiente

t = es el intervalo de tiempo entre las dos fechas de medición.

2. 2. Cálculo de la tasa de crecimiento de población de acuerdo con Maldonado (2005):

$$r = \frac{1}{t} * \frac{(Nt - N0)}{N0} * 100 \quad r = \frac{1}{10} * \frac{(1020568 - 851265)}{851265} * 100$$

$$r = 0.1 * 0.1988840137912401 * 100 = 1.988\%$$

r = Tasa de crecimiento

Nt = Población al final del periodo

N0 = Población al inicio del periodo

t = Tamaño del intervalo de tiempo

K = 100

3. Resultados

Para un análisis pormenorizado de la dinámica espacial, es necesario contar con el cálculo de la ganancia, la pérdida y la tabulación cruzada, para cada categoría se muestran cifras de acuerdo con la clasificación en el cuadro 3.

Se muestra una comparación obtenida en un mapa de uso de suelo y coberturas analizadas para el periodo 2000 y 2010 (figura 2). En México, en la región mazahua, como en muchas otras partes del mundo, esta tendencia se manifiesta en cambios cada vez más notables en la biosfera, que si bien en muchos casos son deseables y justificados, en otros el equilibrio ecológico se vería dañado y a su vez dejaría inutilizable el terreno en el que suceden.

Cuadro 3. Tabulación cruzada, superficie de cambio de uso de suelo (ha). Área mazahua del altiplano en México 2000 y 2010.

		2010							Total
		Coberturas	B	P	AH	CA	AR	AT	
2000	B	72 692.00	22 215.78	19.89	12.60	4 323.87	421.65	1.44	99 687.24
	P	2 862.81	35 487.99	585.36	54.45	13 738.5	5 973.57	27.36	58 730.04
	AH	40.86	430.11	1 052.91	69.66	2 216.61	981.72	177.39	4 969.26
	CA	383.13	748.35	170.46	5 933.3	262.35	394.20	31.23	7 923.06
	AR	309.24	16 492.77	1 788.93	127.71	76 248.18	22 470.60	173.07	117 610.50
	AT	375.48	26 829.18	468.36	14.67	45 015.84	27 727.5	83.61	100 514.70
	SDV	1 757.97	5 791.50	3 813.39	37.71	18 679.5	14 088.2	605.43	44 773.74
	Total	78 421.50	107995.60	7 899.30	6 250.10	160484.80	72 057.60	1 099.50	434 208.60

Nota: B = Bosque; P = Pastizal; AH = Asentamientos humanos ; CA = Cuerpos de agua; AR = Agricultura de riego; AT = Agricultura de temporal; SDV = Suelos desprovistos de vegetación.
Fuente: elaboración propia.

3. 1. Bosque

La transformación de las áreas de bosque muestra una superficie obtenida para el 2000 de 99 687.24 ha y para el 2010 de 78 421.5 ha por lo que presenta una pérdida de bosque de 26 995 ha en el lapso de 10 años, que pasa principalmente a pastizal (22 215 ha), cambio menos conveniente desde el punto de vista ambiental, pues se pierde superficie de bosque en la que ocurrían procesos ecológicos para brindar servicios ambientales. Social y culturalmente se pierde una fuente de bienes para los habitantes locales como leña, plantas silvestres medicinales, ornamentales, rituales, hongos, frutos y semillas, etc. (Lambin, 1997); por la deforestación también se pierde o disminuye el hábitat de animales silvestres, algunos de ellos comestibles o de alguna otra importancia cultural local.

Los cambios en la cobertura de bosque se presentan principalmente en escarpes y lomeríos. Esta vegetación es indispensable para la regulación del ciclo hidrológico, mantener un clima adecuado, purificar la atmósfera y el agua, evitar la excesiva erosión del suelo, extinción de especies de plantas y de animales, la propagación de plagas, de modo que el deterioro del bosque en estas zonas causa serios daños a corto y largo plazo.

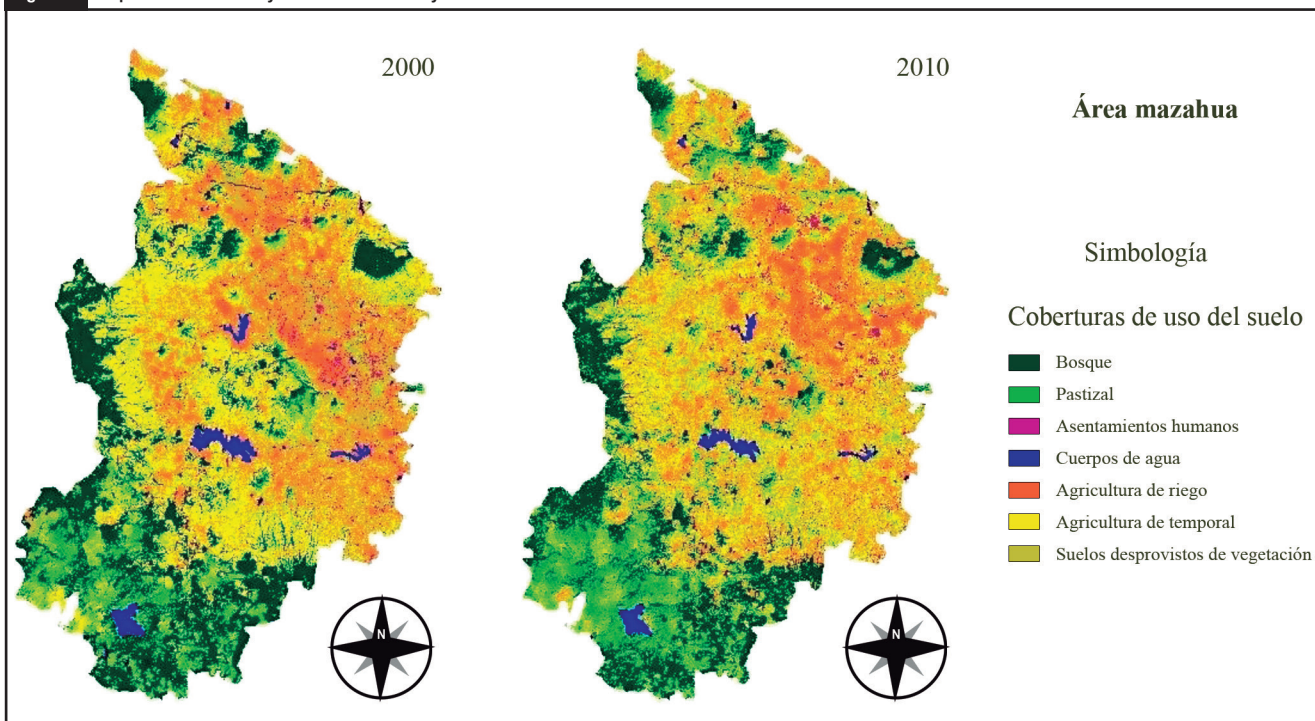
La tasa de pérdida anual de deforestación fue calculada con los datos de superficie obtenidos para el periodo de 2000 y 2010 dio como resultado 1.1 % indicando que se pierde este porcentaje por cada año. Estos cambios muestran

el estado en general de los municipios correspondientes al área mazahua. Por tanto, ésta se encuentra en una etapa de degradación del recurso forestal ofreciendo un medio inconveniente al entorno ambiental y se asocian a impactos ecológicos y sociales importantes en todas las escalas. En particular, la deforestación está relacionada con la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y la erosión de los suelos, entre otros. Esto es importante en áreas rurales, donde existen numerosas presiones sobre el uso del suelo por agricultura, silvicultura y actividades de conservación y recreación (González-Espinosa *et al.* 2008).

3. 2. Pastizal

Para el año 2000 el pastizal ocupó una superficie de 58 730.04 ha, mientras que para 2010 la cifra fue de 107 995.68 ha, que presenta una ganancia de pastizal de 72 507.69 ha. Los cambios de uso de suelo de bosque a pastizal son evidentes a lo largo del área mazahua. Si bien el cambio de bosque a pastizal es menos favorable para procesos ecológicos, los pastos son aprovechados para alimentar a los animales mediante el pastoreo. El aumento del área de pastoreo también se ve influenciada por el abandono de terrenos agrícolas; en algunos casos, la gente prefiere criar animales mediante el pastoreo que cultivar la tierra porque obtienen una mejor ganancia económica por la venta de animales (Orozco y López, 2007; López *et al.*, 2006).

Figura 2. Mapa de uso de suelo y coberturas de 2000 y 2010 del área mazahua.



Fuente: elaboración propia con base en clasificación supervisada de imágenes satelitales TM.

Por otro lado, el abandono de la agricultura de riego (13 738 ha) y de temporal (5 973 ha) también influyen en el aumento del área de pastizales, ya que indica la ausencia de la agricultura por parte de los campesinos en algunas áreas como resultado de procesos ambientales como erosión y pérdida de fertilidad del suelo, procesos sociales y económicos como alza de precio de los insumos agrícolas, migración, falta de interés en la agricultura por parte de las generaciones jóvenes y mayor diversificación de las actividades en el medio rural, entre otros.

Si bien el pastizal es un recurso como alimento para el ganado, a su vez es un factor de riesgo ambiental pues pueden presentarse incendios principalmente en época de secas, los cuales tienen un efecto destructivo y descontrolado sobre diferentes comunidades vegetales y especies animales no sólo de los pastizales, sino de los bosques adyacentes a áreas de pastizal, lo que puede provocar pérdidas de grandes superficies de bosques.

3. 3. Agricultura de riego

La agricultura de riego para 2000 representó un total de 117 610.56 ha y en el 2010 registró 160 484.85 ha, lo que indica un incremento de 36% (84 236.67 ha). Esta cobertura proporciona a la población una serie de productos de autoconsumo e industrial. Ante la falta de rentabilidad de la siembra de cultivos básicos, la gente incursiona en cultivos mejor pagados como tomate, chícharo, haba verde, jitomate, flor de corte y de maceta, etc., por su propia iniciativa o mediante el apoyo de programas de gobierno que fomentan la reconversión agrícola. Si bien, este cambio en la actividad agrícola brinda mayor seguridad económica, el uso y manejo del agua (tipos de riego, épocas de riego), suelo (fertilizantes, labores culturales) y cultivos (manejo de plagas) tienen que ser amigables con el ambiente para evitar disminución del recurso agua y contaminación de suelo y aire.

3. 4. Agricultura de temporal

La agricultura de temporal en 2000 presenta una superficie de 100 514.7 ha y de 72 057.6 para 2010, lo que significa que disminuyó de 23.1% a 16.6 % del área mazahua. Estas cifras muestran la preferencia por la agricultura de riego y el abandono de la agricultura en algunas áreas, que abre paso al pastizal, el cual se observa más en áreas alejadas de los asentamientos humanos de cada comunidad debido a la diversificación de las actividades, puesto que cada vez es menos el tiempo dedicado a la agricultura; asimismo, se observa el robo de las cosechas de los terrenos alejados, por lo que la gente opta por cultivar su tierra cercana a su casa.

3. 5. Cuerpos de agua

Los cuerpos de agua existentes en el área en el año 2000 ocupan una superficie de 7 923.06 ha y para el año 2010 de 6 250.14 ha, dando como resultado una pérdida de 1 989 ha, lo cual indica que posiblemente su uso ha sido inadecuado y ha disminuido su volumen por la mayor demanda del recurso, el azolve de los cuerpos de agua por la erosión del suelo y por condiciones variantes del temporal. El desuso de algunos cuerpos de agua propicia el establecimiento de pastos en bordos y jagüeyes. La disminución del volumen de agua disponible impacta en los sectores económicos si se considera que prácticamente cualquier proceso productivo hace uso de ella. El sector industrial principalmente en la zona norte Atlacomulco e Ixtlahuaca se vería afectado por la disminución de la disponibilidad de agua. La mayoría de los cuerpos de agua en el área mazahua son empleados para la agricultura, la disminución del número de estos y de la cantidad de agua captada en los mismos afecta directamente a la agricultura de temporal. Por otro lado, los bordos y presas tienen una función secundaria que es el cultivo de peces, principalmente carpa; este tipo de productos complementan la alimentación de muchas poblaciones que tiene acceso a estos cuerpos de agua.

3. 6. Asentamientos humanos

En la cobertura de asentamientos humanos para el año 2000, éstos ocupan una superficie total de 4 969.26 ha y para 2010 de 7 899.3 ha. Se observa un incremento en el número de viviendas, vías de comunicación, zonas industriales, centros comerciales y escuelas. Además la tasa de crecimiento poblacional para ese lapso de 10 años en el área mazahua calculada fue de 1.9% a partir de los Censos de Población y Vivienda de INEGI 2000 y 2010, a este paso se incrementaría la futura demanda de más suelo para asentamientos humanos, áreas verdes y mayor producción de alimentos.

3. 7. Suelos desprovistos de vegetación

El suelo desprovisto de vegetación representó una superficie para 2000 de 44 773.74 ha y para 2010 una superficie de 1 099.53 ha. Estas cifras indican que el cambio fue benéfico: está menos expuesto a la erosión hídrica y eólica, lo cual se explica por la ganancia de la agricultura tanto de riego y de temporal en un periodo de 10 años, que ambas representan 32 767 ha de suelo cultivado en vez de desprovisto de vegetación.

Conclusiones

En el periodo analizado de 10 años ocurren cambios en 49.39 % del área mazahua. Los principales procesos de cambio originados por la actividad humana son el cambio

de uso del suelo de bosque a pastizales, el de pastizal a agricultura de riego o a agricultura de temporal, donde se tiene una ganancia de zona agrícola, y el cambio de agricultura de riego y temporal al de asentamientos humanos que indica un crecimiento de zona urbana.

Los procesos de deforestación son evidentes en la zona sur principalmente en los municipios de Amanalco de Becerra, Valle de Bravo, Ixtapan del Oro, Donato Guerra y Villa de Allende. El cambio de la cubierta forestal en particular ocasiona dos impactos básicos para los habitantes del área mazahua: el primero es la reducción de bosque y el segundo es la disminución de la capacidad de captación de agua como bien y servicio ambiental, consecuencia de procesos de degradación del suelo.

Los procesos de recuperación de zonas agrícolas incrementan la demanda de agua para la agricultura de riego y agricultura de temporal, lo que ocasiona disminución en los cuerpos de agua. El crecimiento de asentamientos humanos durante el periodo analizado se incrementó 0.7% (6 846.39 ha). La urbanización mayormente es generada por el establecimiento de fraccionamientos habitacionales principalmente en los municipios de carácter urbano y con mayor cercanía a la capital del Estado, como Almoloya de Juárez, Ixtlahuaca y Atlacomulco.

Algunos factores que contribuyeron al proceso del cambio de uso de suelo observados en los recorridos de campo fueron evidentes tales como construcción de nuevas carreteras, pavimentación de caminos de terracería y parques industriales a lo largo de la carretera Toluca-Atlacomulco, y en Atlacomulco se observan grandes invernaderos a los lados de la carretera Atlacomulco-El Oro; en los alrededores de Ixtlahuaca se observan incendios, sobrepastoreo, abandono de agricultura, influencia urbana y asentamientos humanos dispersos.

El cambio de modo de vida de los habitantes de la región afecta el uso de suelo, ya que al paso del tiempo se ve alterado u obligado a modificarse de acuerdo con nuevas necesidades de la gente. Se observa un modo de vida más “urbano” que se hace evidente al aumentar de manera gradual el número de viviendas y de población como lo muestra el censo de población y vivienda de 2000 y 2010.

Prospectiva

Los modos de vida cambiantes y el crecimiento demográfico conllevan a cambios de uso del suelo. En el caso de la pérdida de bosque, por la necesidad de cultivar la tierra para comer o para la venta de productos agrícolas y para la construcción de casas, parece que es inevitable en laderas debido a usos y costumbres locales y al régimen de tenencia de la tierra. Así, la conservación del bosque requerirá de un manejo comunitario

del bosque o del establecimiento de áreas naturales protegidas y de que haya una buena planeación en cuanto al crecimiento urbano. Su recuperación es limitada por el abandono de la agricultura en faldas de montañas o dentro del bosque, debido a la falta de rentabilidad de la agricultura, la ocupación de la gente en actividades no agrícolas y robo de cosechas.

Los procesos sociales y ambientales de recuperación del bosque son benéficos para la existencia de servicios ambientales, pero por otro lado implica la reducción de la superficie bajo cultivos nativos, como es el maíz y otras especies que se cultivan a lo largo del área mazahua, que pone en riesgo la conservación *in situ* de la agrobiodiversidad.

Las dinámicas sociales locales y políticas agrarias y agrícolas llevan al interés cada vez mayor por el cultivo de especies rentables, bajo invernadero o a cielo abierto; ambos sistemas requieren el uso intensivo de agua y del suelo, lo cual requerirá de un uso y manejo sustentable para evitar su contaminación. La reconversión agrícola en lugares adecuados para ella podría resultar en la mayor venta de cultivos para el mercado regional o para el extranjero y disminución del cultivo para el autoconsumo o en definitiva, optar por la compra de cultivos básicos en lugar de producirlos.

El crecimiento de la población es un factor que altera el equilibrio y que generalmente conlleva a una sobreexplotación de los recursos y una demanda mayor de servicios. Dos cambios significativos del suelo son de agrícola y pastizal a asentamientos humanos. Nuevas formas de vida demandan casas de arquitecturas diferentes a las tradicionales en el medio rural, y también tamaño. Ahora lo importante es tener una casa grande, a costa de la superficie agrícola, toda vez que se está en la posibilidad de comprar alimentos en vez de cultivarlos; así, la arquitectura de las casas en el medio rural refleja por una parte influencia de la migración rural a otros países y el desinterés por la agricultura, sobre todo por las personas jóvenes.

Si bien las opciones de migrar o dedicarse a agricultura rentable son viables para algunos, para otros el permanecer en sus comunidades es una opción de vida. Mediante la práctica de la agricultura de temporal, y el rescate del saber-hacer tradicional para la elaboración de artesanías mazahuas, se podrían valorar y revalorar procesos socioambientales locales que conserven la cultura pero que represente un modo de vida digno.

La investigación presentada permite visualizar el futuro posible en el área mazahua respecto a los cambios de uso de suelo que, si bien es inevitable, lo que se pretende es lograr una concientización para el aprovechamiento y conservación del suelo como recurso natural y de sus usos como bosque, agua, pastizales y agricultura, de modo que se realice un uso racional.



- Berry, M. W., R. O. Flamm, B. C. Hazen, y MacIntyre, R. L. (1996). The Land-Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions, *IEEE Computational Science y Engineering*, 3(1), 24-35.
- Bocco, G., Mendoza, M., Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 1), *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 18-38.
- Bonfil, P. (1996). Las familias rurales ante las transformaciones socioeconómicas recientes. *Estudios Agrarios. Revista de la Procuraduría Agraria*, 5: 64-78.
- Braimah, A. K. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental (3a ed.). Barcelona: Ediciones Ariel.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1996). Forest resources assessment 1990, *Survey of tropical forest cover and study of change processes*, 130: 152.
- Fernández Núñez, M. y Prados Velasco, M. J. (2010). *Cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Guadalupe (1975-1999)*. GeoFocus. Disponible en www.geo-focus.org/articulo7_2010. Consultado el domingo 21 de agosto de 2011.
- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Camacho-Cruz, A. y Rey-Benayas, J. M. (2008). *Restauración de bosques en montañas tropicales de territorios indígenas de Chiapas, México. Restauración de bosques en América Latina*. México: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas. Editorial Mundi-Prensa.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2000). *Censo general de población y vivienda*.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). *Censo general de población y vivienda*.
- Juan, J., Ramírez, J., Monroy, J., Campos, J. (2006). Ambiente, sociedad, cultura y educación ambiental en el Estado de México. *Revista Iberoamericana de Educación*, 40(4), 1-10.
- Lambin, E. F. (1997). Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions, *Progress in Physical Geography*, 21(3): 375-393.
- López, E., Boco, G., Mendoza, M., Velázquez, A. y Aguirre-Rivera, J. R. (2006). Peasant emigration and land-use change at the water-shed level: A GIS-based approach in central México, *Agricultural Systems*, 90:62-78.
- Maldonado, P. (2005). *Demografía / Demography: conceptos y técnicas fundamentales*. Distrito Federal: Editorial Plaza y Valdés.
- Orozco, Ma. E. y López, D. (2007). Estrategia de supervivencia familiar en una comunidad campesina del Estado de México. *Ciencia ergo-sum*, 13(3), 246-254.
- Pontius, R. G., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3) 251-268.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2010). Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.1_Vegetacion/index.shtml
- Turner, B. L. y Meyer, W. B. (1994). Global land use and land cover change: an overview, en W. B. Meyer y B. L. Turner II, *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press.
- USGS (United States Geological Survey) (2012). Earth Explorer homepage. Disponible en <http://edcns17.cr.usgs.gov/NewEarthExplorer>.

