



Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México

Changes on land cover and soil usage: case study in Progreso Hidalgo, Estado de México

Raúl Camacho-Sanabria¹, José Manuel Camacho-Sanabria², Miguel Ángel Balderas-Plata³ y Marcela Sánchez-López⁴

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química. Toluca, Estado de México, México. r_3camacho@hotmail.com

² Universidad de Quintana Roo. División de Ciencias e Ingeniería. Cátedra Conacyt. Chetumal, Quintana Roo, México. jmanuelcs@live.com.mx

³ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Geografía. Toluca, Estado de México, México. mabalderasp@uaemex.mx

⁴ Universidad Autónoma del Estado de México. Centro de Enseñanza de Lenguas. Toluca, Estado de México, México. marce_sl@yahoo.com

RESUMEN

Actualmente, en Progreso Hidalgo la pérdida de la rentabilidad y de la capacidad productiva agrícola está ocasionando cambios en las coberturas de uso de suelo y vegetación (conversión agrícola), uno de ellos es la implementación de la producción agrícola en invernaderos. Por lo cual la presente investigación tiene por objetivo analizar los cambios de cobertura y uso de suelo para los periodos 2000-2007 y 2007-2015, mediante mapas de uso de suelo y vegetación, resultado de la interpretación visual interdependiente de insumos cartográficos, para comprender los procesos de cambio y la dinámica de uso de suelo que determina a la zona. Los mapas obtenidos fueron sometidos a la validación cartográfica para conocer su grado de confiabilidad temática. Por medio de la sobreposición de dichos mapas se determinaron los indicadores de cambio, índices de Braimoh y las tasas de cambio. Los resultados alcanzados expresan que, para el periodo 2000-2007, las categorías de agricultura (de temporal y riego) y bosque decrecieron, puesto que se perdieron 23.04 ha y 16.76 ha, respectivamente. Por su parte, la cobertura que obtuvo mayores ganancias fueron los invernaderos con 5.19 ha, mientras que para el periodo 2007-2015 la agricultura perdió 18.71 ha, pasando a invernaderos 14.39 ha. La pérdida de la superficie agrícola es producto de la implementación y expansión de nuevos espacios destinados a la producción agrícola en invernaderos, condicionados principalmente por factores ambientales (protección de cultivos y tipo, estado y condición del suelo) y socioeconómicos (programas gubernamentales, accesibilidad, cantidad de producción y tipo comercialización).

PALABRAS CLAVE: indicadores de cambio, índices de Braimoh, matriz de cambios, tasas anuales de cambio, validación cartográfica.

ABSTRACT

Nowadays the decrease in the ongoing profitability of Progreso Hidalgo and its low productive capacity in agriculture have caused changes in land cover and vegetation (agricultural conversion) mainly due to the implementation of agriculture based on greenhouses. The main objective of this research paper is to analyze changes on land cover and land use which took place from 2000-2007 and from 2007-2015 by using land cover and vegetation maps that came up as the result of interdependent visual interpretation of cartographic items, in order to understand the changing process and dynamics of land use in this place. The maps that were obtained faced a process of cartographic validation to know the level of thematic reliability and by means of overlapping them the indexes of change, the indexes of Braimoh and change rates were established. According to the results, it can be stated that for the period between 2000 and 2007 there was a decrease in two forms of agriculture (irrigated and rainfed) and in an area of forest. Also, there was a loss of 23.04 ha of agriculture and 16.76 ha of forest. On the other hand, there was an increase in the area intended for greenhouses, with a total of 5.19 ha. For the period between 2007 and 2015, agriculture had a depletion of 18.71 ha, whereas greenhouses have taken up 14.39 ha. The depletion of this area widely used for agriculture has come as the result of the implementation and expansion of new areas designated to greenhouses, which are basically conditioned by environmental factors (protection of crops and soil conditions) as well as socioeconomic factors (government programs, accessibility, amount of production and its commercialization).

KEYWORDS: indexes of changes, indexes of Braimoh, matrix of changes, annual change rates, cartographic validation.

INTRODUCCIÓN

El análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en cualquier territorio conlleva a comprender como interactúan los diversos factores socioeconómicos y biofísicos que en él se encuentran (Pineda, Bosque, Gómez y Franco, 2011). Los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación son el referente para conocer las trayectorias de los distintos procesos de cambio que existen en determinado territorio (Mas y Flamenco, 2011). Las actividades económicas que practican las distintas sociedades del mundo juegan un papel importante en la dinámica de uso de suelo y en el deterioro ambiental.

Actualmente, en Progreso Hidalgo la pérdida de la rentabilidad y la capacidad productiva agrícola está ocasionando cambios en las coberturas de uso de suelo y vegetación (disminución o expansión), y uno de ellos es la implementación de la producción agrícola en invernaderos. Dicha transformación está enfocada al establecimiento, desarrollo y mecanización de productos con fines comerciales, provocando con ello severos impactos en los componentes del ambiente.

En la localidad de Progreso Hidalgo se han realizados múltiples y distintas investigaciones, entre las cuales destacan: Manejo del agua en una comunidad de transición ecológica del Estado de México (Juan y Madrigal, 2004); Manejo del ambiente y riesgos ambientales en la región fresera del Estado de México (Juan, 2006); Agricultura tradicional y comercial en una zona de transición ecológica (Juan, 2007), entre otras. A pesar de que la comunidad de Progreso Hidalgo ha sido objeto de estudio de diversas investigaciones, solamente existe una asociada a la temática y es denominada: Cambio de uso de suelo en una comunidad de transición ecológica. Progreso Hidalgo, Estado de México: impactos y consecuencias 2005-2010 (Ballesteros, 2013).

El impulso de investigaciones asociadas con los cambios acontecidos en las coberturas y usos del suelo en una dimensión temporal y espacial de un territorio determinado requiere, fundamentalmente, del uso y manejo de diversos materiales cartográficos, en específico, de mapas de uso de suelo y vegetación, ya que a partir de estos los

especialistas en el área y, sobre todo, las autoridades responsables en la temática, determinan, establecen e implementan políticas públicas (Millington y Alexander, 2000).

En la actualidad, los insumos cartográficos para la elaboración de mapas de uso de suelo y vegetación están disponibles en diversas fuentes institucionales, centros de investigación y en internet (Mas y Couturier, 2011), para su posterior aplicación y manejo en un Sistema de Información Geográfica. Estas herramientas permiten identificar y representar espacialmente las superficies más propensas a cambiar, y permitiendo comprender los procesos de cambio y la dinámica que experimentan las diversas cubiertas y usos del suelo de un territorio determinado (Veldkamp y Lambin, 2001; Xiang y Clarke, 2003).

A partir de los mapas de uso de suelo y vegetación se puede identificar, representar, describir, cuantificar, localizar, analizar, evaluar, explicar y modelar los procesos de cambio y la dinámica que ocurre en las diversas coberturas vegetales y usos del suelo de un espacio geográfico y en un tiempo específico (Camacho-Sanabria *et al.* 2015).

En México, el impulso de estudios de cambio de uso del suelo y vegetación se determina a partir del uso de insumos cartográficos asociados con las distintas cubiertas y usos del suelo del territorio nacional. El dominio, análisis e interpretación de las tasas de cambio, pérdidas, ganancias, cambio neto, cambio total, intercambios e índices de persistencia, procedentes de dichos materiales, ha provocado incertidumbre en la comunidad científica, debido a la calidad de los insumos cartográficos, la metodología utilizada para su elaboración y la falta de aplicación de métodos que permitan validar su confiabilidad (Mas, Reyes y Pérez, 2003; Mas y Couturier, 2011).

Por lo anterior, es hasta cierto punto ineludible que los mapas de uso de suelo y vegetación (resultado de la interpretación de ortofotos, fotografías aéreas o imágenes de satélite) se sometan a procesos relacionados con la evaluación de la confiabilidad temática. Comprobar la confiabilidad de un producto cartográfico, principalmente la de los mapas de uso de suelo y vegetación, posibilita a los interesados valorar su ajuste con la realidad para asumir



el riesgo de tomar decisiones con base en esta información cartográfica (Mas *et al.*, 2003).

OBJETIVOS

Los objetivos de la presente investigación fueron:

1. Elaborar mapas de uso de suelo y vegetación de los años 2000, 2007 y 2015, resultado de la interpretación visual interdependiente de insumos cartográficos.
2. Validar los mapas de uso de suelo y vegetación (2000, 2007 y 2015) para conocer su grado de confiabilidad temática.
3. Analizar los cambios de cobertura y uso de suelo de los periodos 2000-2007 y 2007-2015, para comprender los procesos de cambio y la dinámica de uso de suelo que determina a la zona y establecer si ésta se encuentra inmersa en un proceso de conversión agrícola.
4. Identificar los principales factores que han provocado los cambios de cobertura y uso de suelo en Progreso Hidalgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Progreso Hidalgo se localiza al sur de Villa Guerrero en el Estado de México, entre las coordenadas 18° 49' 34" y 18° 52' 30" de latitud norte y 99° 36' 30" y 99° 37' 32" de longitud oeste. Se ubica en una zona de ecotono o de transición ecológica que se caracteriza por una amplia diversidad biológica. Además, las condiciones ambientales que la describen favorecen la presencia de diversos sistemas agrícolas (Fig. 1).

Progreso Hidalgo es una comunidad rural-campesina con una superficie de 826 hectáreas aproximadamente. Limita al norte y oriente con localidades de Zumpahuacán; al sur con las barrancas formadas por los ríos Calderón, Nenetzingo, San Jerónimo y Tenancingo, y con algunos espacios del municipio de Tonatico; y al poniente, con barrancas y comunidades del municipio de Ixtapan de la Sal (Ramírez y Juan, 2008).

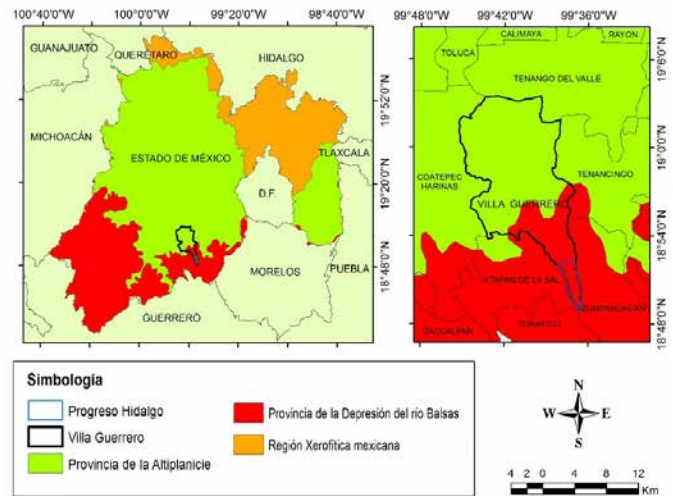


FIGURA 1. Ubicación geográfica de Progreso Hidalgo en el contexto estatal y municipal.

Fuente: elaboración propia con base en Halffter (1964), Conabio (2015) e Inegi (2015).

Materiales

Se utilizaron dos ortofotos (marzo 2000 y abril 2007) y una imagen de satélite (diciembre 2015) para la elaboración de los mapas uso del suelo y vegetación del área de estudio. Estos insumos fueron obtenidos del Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (Igecem), del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) y del Google Earth (Tabla 1).

Elaboración de mapas de uso de suelo y vegetación

Definición de variables

Las unidades de análisis de esta investigación corresponden a las distintas coberturas y usos del suelo que se encuentran distribuidas espacialmente en Progreso Hidalgo. El reconocimiento de los usos y coberturas del suelo del área de estudio se sustentan en los criterios de identificación establecidos por Romero (2006), Moscoso (2006) y Pauleit, Ennos y Goldingy (2005) (Tabla 2). La selección de estas variables se determinó mediante la con-

TABLA 1. Insumos para la elaboración de mapas de cobertura y uso de suelo.

<i>Cantidad</i>	<i>Insumo</i>	<i>Año</i>	<i>Escala</i>	<i>Resolución espacial</i>	<i>Fuente</i>
1	Ortofoto	2000	1:10000	1 m. por píxel	Igecem
1	Ortofoto	2007	1:10000	1 m. por píxel	Inegi
1	Imagen de satélite	2015	S/D	15 m.	Google Earth

Fuente: elaboración propia.

sulta de bibliografía especializada, el trabajo de campo y, desde luego, de acuerdo con la disponibilidad de estas.

Clasificación

Los mapas de uso de suelo y vegetación que comprende Progreso Hidalgo se elaboraron a partir de una imagen de satélite y dos ortofotos. Estos insumos se sometieron a procesos automatizados (Arc Map 10.2.2) y al método de interpretación visual interdependiente. Este método consiste en actualizar la interpretación con base en dos fechas, una fecha anterior (inicial) con la imagen de la fecha siguiente (final), permitiendo obtener una serie temporal de mapas de forma más congruente que si fuera obtenida con base en interpretaciones independientes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1996). Es decir, obtenido el mapa de las categorías del año más reciente (2015), se utilizó para interpretar la imagen del año siguiente (2007). Posteriormente, con base en el mapa del año 2007 se realizó la interpretación del año 2000.

Validación de mapas de uso de suelo y vegetación (2007, 2007 y 2015)

La confiabilidad temática permite valorar el grado de correspondencia de un mapa con la realidad (Stehman y Czaplewsky, 1998). Los mapas derivados de la interpretación con el método de interpretación visual interdependiente fueron sometidos al proceso de evaluación de la confiabilidad temática para conocer su grado de certeza y confiabilidad (Mas *et al.*, 2003). Esto se realizó a partir de las distintas etapas que comprenden al pro-

TABLA 2. Categorías o variables de análisis.

<i>Uso/cobertura</i>	<i>Descripción</i>
Agricultura de temporal y de riego 	Son aquellas áreas que son destinadas al uso de suelo agrícola. Esta categoría integra a la agricultura de temporal y a la agricultura de riego.
Producción agrícola en invernaderos 	Espacios conformados por invernaderos (construcción con estructura metálica cubierta de película plástica traslúcida).
Bosque (vegetación arbórea) 	Espacios conformados por vegetación arbórea (principalmente selva baja caducifolia)
Cuerpos de agua 	Espacios destinados como reservorios del componente agua de origen natural y antrópico.
Asentamientos humanos 	Superficie artificial construida que posee espacios entre una vivienda y otra.

Fuente: elaboración propia con base en Pauleit *et al.* (2005), Moscoso (2006), Romero (2006) y trabajo de campo (2016).



ceso de evaluación. A continuación se describe cada uno de los procesos.

1. Diseño del muestreo. Esta etapa consta de tres fases: a) la unidad de muestreo que se ocupó fue el punto; b) el método de muestreo utilizado fue el aleatorio estratificado, considerando que permite tener parte del control sobre la distribución de los sitios de muestreo y garantizando que no se sobremuestren las categorías con mayor superficie en relación a las de menor extensión (Card, 1982; Mas *et al.*, 2003; Mas y Couturier, 2011); y c) el tamaño de la muestra se estableció desde dos perspectivas: la primera con base en lo determinado por Congalton (1988, 1991), que sugiere verificar por lo menos 50 sitios por categoría, y la segunda con base en los parámetros establecidos por Mas y Couturier (2011), donde definen que para obtener una confiabilidad global estimada para el mapa de 80% y un medio intervalo de confianza de 5% se deben aplicar 247 sitios de verificación. Por lo cual se registraron 200 puntos de muestreo para el mapa correspondiente al año 2000. Para el mapa de 2007 se muestrearon 250 puntos debido a la inclusión de la categoría producción agrícola en invernaderos. Para el último año (2015) se reconocieron 250 puntos nuevamente (Tabla 3).

2. Evaluación de los sitios de verificación. En esta fase se asociaron los puntos de muestreo anteriormente registrados, con una categoría de la leyenda que se localiza en los mapas de uso de suelo y vegetación. Para la evaluación de los sitios de verificación correspondientes a los años 2000, 2007 y 2015 se ocuparon los insumos utilizados

previamente para la elaboración de los mapas. Para esto, fue necesario recurrir a un especialista (externo) en la temática, con el propósito de evaluar los sitios de muestreo mediante la interpretación visual y el conocimiento de experto (Congalton, Martin, Newman y Aber, 1998).

3. Análisis de los datos. Este proceso se desarrolló a través de la elaboración de la matriz de confusión o matriz de error (una para cada año: 2000, 2007 y 2015), que permite comparar la información de los sitios de verificación con los mapas de uso de suelo y vegetación (categorías clasificadas en los mapas). Dicha matriz está integrada por filas que representan las clases de referencia. Las columnas integran las categorías del mapa y la diagonal constituye el número de sitios o puntos de verificación para los cuales hay correlación entre los datos de referencia y las categorías del mapa, mientras los marginales expresan errores de asignación (Mas *et al.*, 2003; Mas y Couturier, 2011) (Tabla 4).

Mediante los datos obtenidos a partir de la matriz de confusión se determinaron y calcularon los índices de confiabilidad y el medio – intervalo de confianza para cada mapa, considerando una confiabilidad estimada de 80% (Stehman y Czaplewski, 1998) (Tabla 5).

Previo al desarrollo de los índices de confiabilidad y el medio – intervalo de confianza, se realizó la corrección de las matrices de confusión, debido al método de muestreo aplicado en la investigación “aleatorio estratificado”. Puesto que en dicho muestreo el número de sitios por categoría no es proporcional a la superficie cubierta por cada

TABLA 3. Tamaño de la muestra por categoría (puntos de muestreo) en función de la confiabilidad que se pretende alcanzar y el medio intervalo de confianza que se pretende obtener.

Medio intervalo de confianza que se pretende obtener (*)	Porcentaje de confiabilidad que se pretende alcanzar (p)				
	90	80	70	60	50
2.5	553	983	1291	1475	1537
5.0	138	246	323	369	384
10.0	35	61	81	92	96

p: confiabilidad estimada *medio intervalo de confianza.
Fuente: Mas *et al.* (2003).

TABLA 4. Matriz de confusión o de error.

Verdad terreno (Clases de referencia= i)	Verdad imagen (Categorías del mapa = j)				
	j_1	j_2	...	j_q	Total
i_1	$i_1 j_1$	$i_1 j_2$	...	$i_1 j_q$	i_{1+}
i_2	$i_2 j_1$	$i_2 j_2$	...	$i_2 j_q$	i_{2+}
...
i_q	$i_q j_1$	$i_q j_2$	...	$i_q j_q$	i_{q+}
Total	$\sum j_1$	$\sum j_2$	...	$\sum j_q$	$\sum i_+ \sum j$

Donde:

i_j = número de puntos (superficie) correctamente clasificados de cada categoría o clase.

i_{i+} = suma de los puntos (superficie) correspondientes a la clase de referencia i .

$\sum j_i$ = suma de los puntos (superficie) de la categoría del mapa j .

$\sum i_+$ o $\sum i_+$ = total de la suma de los puntos de las clases de referencia ($\sum P_{i+}$), o bien, total de la suma de los puntos correspondientes a las categorías del mapa ($\sum P_{+j}$).

TABLA 5. Ecuaciones para obtener índices de confiabilidad y medio – intervalo de confianza.

Indicador	Fórmula	Descripción
Confiabilidad global o exactitud general	$P_c = (\sum P_{ij} / \sum P_{+j} \text{ o } P_{i+}) * 100$	Es la proporción de puntos (superficie) correctamente clasificados en los mapas, producto de la interpretación de unas imágenes de satélite y ortofotos. El coeficiente derivado de su cálculo representa la probabilidad para cualquier sitio en el mapa de ser correctamente clasificado.
Medio – intervalo de confianza	$B = z_{\alpha/2} \sqrt{p(1-p)} / n$	Corresponde al error de la estimación precisa de la confiabilidad del mapa. Donde: $z_{\alpha/2}$ es el valor que separa a un área de $\alpha/2$ en la cola del lado derecho de la distribución normal estándar (el valor de $z_{\alpha/2}$ en este estudio corresponde a 1.96); p es la confiabilidad esperada; y n corresponde al tamaño de la muestra.
Error de comisión	$E_c = (1 - (P_{ij} / P_{+j})) * 100$	Indica la proporción de sitios de verificación cartografiada en una cierta clase j , pero que en realidad pertenecen a otra categoría.
Error de omisión	$(E_o) = (1 - (P_{ij} / P_{i+})) * 100$	Representa la proporción de sitios de verificación correspondientes a una categoría j que fue cartografiada en otra.
Confiabilidad del usuario	$C_u = (P_{ij} / P_{+j}) * 100$	Se interpreta como la probabilidad que un sitio clasificado como j y aleatoriamente seleccionado sea realmente j en el terreno.
Confiabilidad del productor	$C_p = (P_{ij} / P_{i+}) * 100$	Es la proporción de sitios de verificación de la clase j que están representados en el mapa o en la base de datos como tal.

Fuente: elaboración propia con base en Camacho *et al.* (2015); Mas *et al.* (2003); Mas y Couturier (2011); Stehman y Czaplewski (1998).

categoría, por lo que el valor obtenido no debe ser interpretado de esta manera (Mas *et al.*, 2003).

La corrección de las matrices de confusión o de error se realizó mediante el método planteado por Card (1982), basándose en ponderar el número de sitios de verificación

en relación con la superficie de cada categoría representada en el mapa. Mediante la aplicación de este método se construyeron matrices de confusión expresadas en proporción (adquieren el mismo formato que la Tabla 4) y con base en los datos que integran a cada una de éstas se cal-



TABLA 6. Indicadores de cambio e índices de persistencia

Indicador	Descripción del indicador y variables
Pérdidas $L_{ij} = P_{i+} - P_{ij}$	Es la diferencia entre la columna del total del tiempo1 (P_{i+}) y la persistencia (P_{ij}). Donde: L_{ij} corresponde a las pérdidas, P_{i+} pertenece al total de cada categoría del tiempo 1 y P_{ij} es la persistencia.
Ganancias $G_{ij} = P_{-j} - P_{ij}$	Es la diferencia entre la fila del total del tiempo2 (P_{-j}) y la persistencia (P_{ij}). Donde: G_{ij} corresponde a las ganancias, P_{-j} pertenece al total de cada categoría del tiempo 2 y P_{ij} es la persistencia.
Cambio neto $D_i = L_{ij} - G_{ij}$	Es la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría. Donde: D_i corresponde al cambio neto, L_{ij} pertenece a las pérdidas y G_{ij} es las ganancias.
Intercambios $S_i = 2X \text{MIN}(P_{i+} - P_{ij}, P_{-j} - P_{ij})$	El concepto de intercambio implica pérdidas y ganancias simultáneas de una categoría sobre el territorio. Se calcula como dos veces el valor mínimo de las ganancias (G_{ij}), o bien, dos veces el valor mínimo de las pérdidas (L_{ij}) de cada categoría.
Cambio total $C_i = D_i + S_i$	Se establece como la suma del cambio neto (D_i) y el intercambio (S_i), o también como la suma de las ganancias (G_{ij}) y las pérdidas (L_{ij}).
Índice de ganancia a persistencia $G_p = G_{ij} / P_{ij}$	Donde: G_p corresponde al índice de ganancia a persistencia, G_{ij} pertenece a las ganancias y P_{ij} es la persistencia.
Índice de pérdida a persistencia $L_p = L_{ij} / P_{ij}$	Donde: L_p corresponde al índice de pérdida a persistencia, L_{ij} pertenece a las pérdidas y P_{ij} es la persistencia.
Índice de cambio neto a persistencia $n_p = G_p - L_p$	Donde: n_p corresponde al índice de cambio neto a persistencia, G_p pertenece al índice de ganancia a persistencia y L_p es el índice de pérdida a persistencia.

Fuente: elaboración propia con base en Pontius *et al.* (2004) y Braimoh (2006).

culó la proporción y la superficie correspondiente a cada una de las categorías de análisis.

Dinámica y procesos de cambio (indicadores de cambio e índices de Braimoh)

Para el análisis de la dinámica espacio – temporal de los cambios de cobertura y uso de suelo ocurridos en Progreso Hidalgo, se realizó el cálculo de: a) los indicadores de cambio, es decir, las pérdidas, ganancias, cambios netos, cambio total y los intercambios entre las distintas coberturas (Pontius, Shusas y McEachern, 2004); y b) los índices de Braimoh o persistencia, que permiten evaluar las características de zonas estables en correspondencia a las pérdidas, ganancias y cambios netos por categoría (Braimoh, 2006) (Tabla 6).

Tasas anuales de cambio

Para analizar los procesos de cambio ocurridos en las coberturas y usos del suelo de Progreso Hidalgo, se determinaron tasas anuales de cambio que comprenden los periodos 2000-2007 y 2007-2015. Esto a partir de las superficies correspondientes a las coberturas y usos del suelo que se encuentran representadas espacialmente en los mapas. Además, se consideró la superficie corregida de cada una de las categorías de análisis obtenida mediante el método de Card (1982). Las tasas de cambio se calcularon con base en la ecuación de la FAO (1996):

$$t = (S_2 / S_1)^{1/n} - 1$$

Donde:

- t = tasa de cambio (se multiplica por 100 para expresarse en porcentaje)
- S_1 = superficie de un tipo dado de cobertura/uso del suelo en el tiempo 1
- S_2 = superficie de la misma cobertura/uso del suelo en el tiempo 2
- n = número de años transcurridos entre los dos tiempos

Factores que determinan el cambio de cobertura y uso de suelo

La obtención de variables explicativas, elementos y factores (económicos, ambientales y culturales) que determinan el proceso de conversión de los sistemas agrícolas en Progreso Hidalgo se sustentaron en 25 recorridos de campo y, desde luego, en la descripción detallada de las relaciones entre sociedad-economía-ambiente (cuestionarios, entrevistas y observación directa). Es así que se incorpora lo que los participantes plantean (agricultores) del fenómeno u observación realizada (cambios de cobertura y uso de suelo) en dicho espacio (Palerm, 2008).

RESULTADOS

Mapas de cobertura y uso de suelo

Se obtuvieron tres mapas de uso de suelo y vegetación de Progreso Hidalgo de los años 2000, 2007 y 2015. La leyenda de estos mapas corresponde para el año 2000 a cuatro categorías: agricultura de temporal y de riego; asentamientos humanos; bosque y cuerpos de agua (Fig. 2a); y para los años 2007 y 2015, se incorporó la categoría producción agrícola en invernaderos, sumando un total de cinco categorías (Fig. 2b y Fig. 2c, respectivamente).

Validación de mapas de usos de suelo y vegetación

Para el mapa del año 2000, de los 200 sitios de muestreo, todos concordaron con las categorías del mapa clasificado para dicho año (Tabla 7a). Respecto al mapa del año 2007,

de los 250 sitios de verificación, 249 correspondieron a las categorías del mapa y uno pertenece a una clase distinta (Tabla 7b). Para el caso del mapa del año 2015, de los 250 sitios de muestreo, todos correspondieron a las categorías del mapa (Tabla 7c).

Los valores obtenidos en las siguientes tablas se expresan en proporción (porcentaje de las categorías clasificadas) del número total de sitios de muestreo. Para el mapa del año 2000, ya que todos los sitios de verificación coincidieron con las categorías del mapa, se observan las siguientes proporciones representadas en el mapa: a) 47.1% de agricultura de temporal y de riego; b) 1.1% de asentamientos humanos; c) 50.9% de bosque; y d) 0.9% de cuerpos de agua (Tabla 8a). Respecto al mapa del año 2007, de todos los sitios de verificación únicamente uno no coincide con las categorías del mapa, por lo cual se realizaron los ajustes necesarios y se identifican los siguientes porcentajes en el mapa: a) 46.3% de agricultura de temporal y de riego; b) 1.2% de asentamientos humanos; c) 50.6% de bosque; d) 1.3% de cuerpos de agua; y e) 0.6 de producción agrícola en invernaderos (Tabla 8b). En el caso del mapa del año 2015, debido a que todos sitios de muestreo corresponden a las categorías del mapa, se muestran las siguientes proporciones en el mapa: a) 44.2% de agricultura de temporal y de riego; b) 1.4% de asentamientos humanos; c) 50.6% de bosque; d) 1.4% de cuerpos de agua; y e) 2.4 de producción agrícola en invernaderos (Tabla 8c).

Las tablas 9a, 9b y 9c integran los valores obtenidos de la aplicación del método de Card (1982). Para los mapas de los años 2000 y 2015 (Tabla 9a y Tabla 9c, respectivamente), debido a la ausencia de errores, se observan las mismas proporciones que en las tablas 8a y 8c. Respecto al mapa del año 2007, se identifican las siguientes proporciones reales del terreno: a) 46.3% de agricultura de temporal y de riego; b) 1.2% de asentamientos humanos; c) 50.626% de bosque; d) 1.274% de cuerpos de agua; y e) 0.600 de producción agrícola en invernaderos (Tabla 9b).

La tabla 10 representa los valores correspondientes a los intervalos de confianza e índices de confiabilidad de los

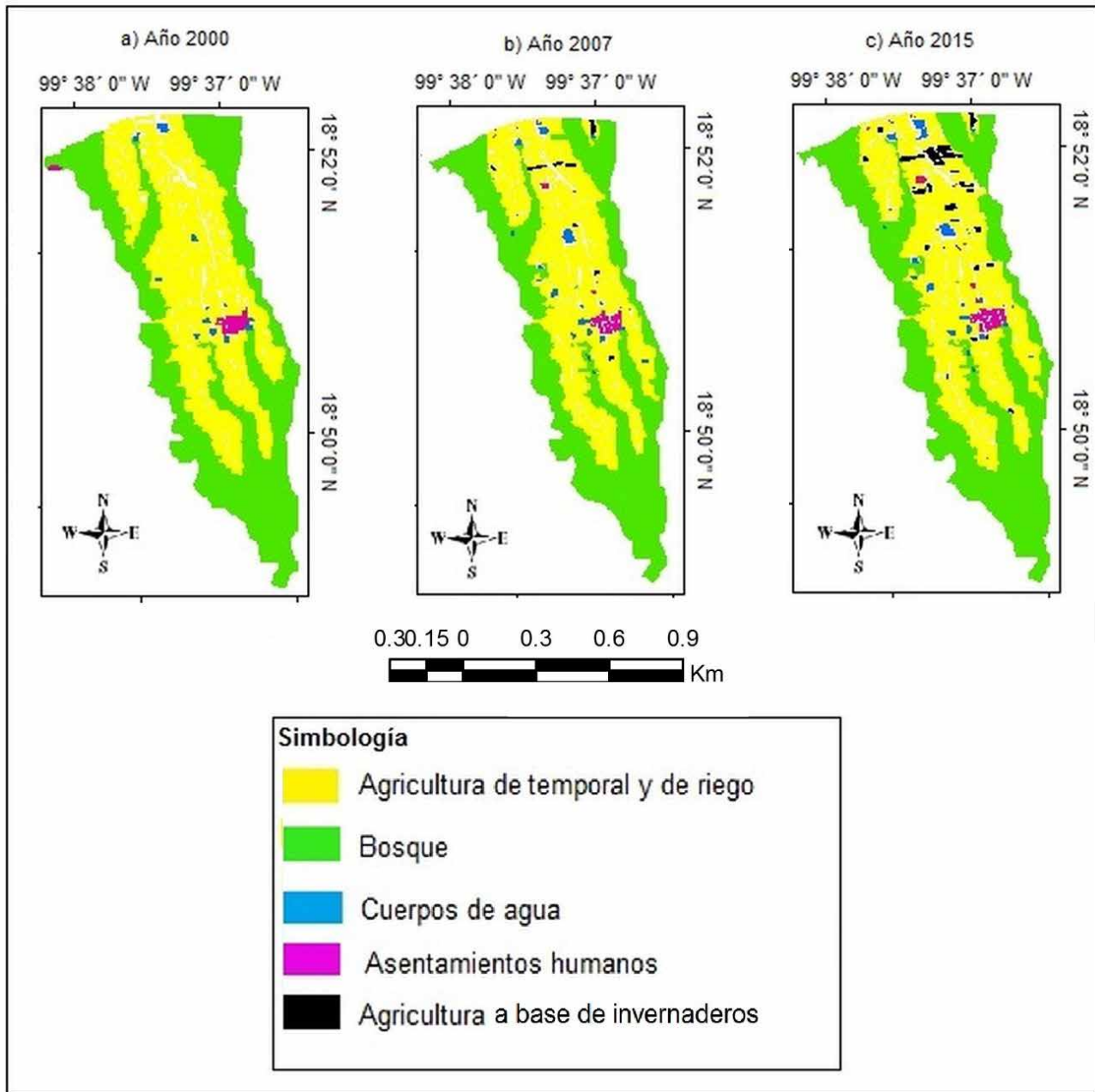


FIGURA 2. Mapas de uso de suelo y vegetación de Progreso Hidalgo.

Fuente: elaboración propia.

mapas interpretados. Respecto a los mapas de los años 2000 y 2015, se observa una proporción de 100% para la confiabilidad del usuario, la confiabilidad del productor y la confiabilidad global, mientras que 0% para el error de comisión, el intervalo de confianza de la confiabilidad del usuario, el error de omisión, el intervalo de confianza de la

confiabilidad del productor y el intervalo de confianza de la confiabilidad global. Dichos porcentajes son representados para cada una de las categorías (Tablas 10a y 10c, respectivamente). En el caso del mapa del año 2007, la mayoría de las categorías representan 100% de confiabilidad del usuario, excepto los cuerpos de agua con 98%. En

TABLA 7. Matrices de confusión o de error.

<i>a) Año 2000</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>				
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	50	0	0	0	50
	Asentamientos humanos	0	50	0	0	50
	Bosque	0	0	50	0	50
	Cuerpos de agua	0	0	0	50	50
Total verdad imagen		50	50	50	50	200

<i>b) Año 2007</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>					
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	50	0	0	0	0	50
	Producción agrícola en invernaderos	0	50	0	0	0	50
	Asentamientos humanos	0	0	50	49	0	50
	Bosque	0	0	0	0	1	50
	Cuerpos de agua	0	0	0	0	50	50
Total verdad imagen		50	50	50	49	51	250

<i>c) Año 2015</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>					
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	50	0	0	0	0	50
	Producción agrícola en invernaderos	0	50	0	0	0	50
	Asentamientos humanos	0	0	50	0	0	50
	Bosque	0	0	0	50	0	50
	Cuerpos de agua	0	0	0	0	50	50
Total verdad imagen		50	50	50	50	50	250

Fuente: elaboración propia.



TABLA 8. Matriz de confusión o error expresada en proporción.

<i>a) Año 2000</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>				
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	0.25	0	0	0	0.25
	Asentamientos humanos	0	0.25	0	0	0.25
	Bosque	0	0	0.25	0	0.25
	Cuerpos de agua	0	0	0	0.25	0.25
Total verdad imagen		0.25	0.25	0.25	0.25	1
Proporción representada en el mapa		0.471	0.011	0.509	0.009	1

<i>b) Año 2007</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>					
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	0.20	0	0	0	0	0.20
	Producción agrícola en invernaderos	0	0.20	0	0	0	0.20
	Asentamientos humanos	0	0	0.20	0	0	0.20
	Bosque	0	0	0	0.196	0.004	0.20
	Cuerpos de agua	0	0	0	0	0.20	0.20
Total verdad imagen		0.20	0.20	0.20	0.196	0.204	1
Proporción representada en el mapa		0.463	0.006	0.012	0.506	0.013	1

<i>c) Año 2015</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>					
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	0.20	0	0	0	0	0.20
	Producción agrícola en invernaderos	0	0.20	0	0	0	0.20
	Asentamientos humanos	0	0	0.20	0	0	0.20
	Bosque	0	0	0	0.20	0	0.20
	Cuerpos de agua	0	0	0	0	0.20	0.20
Total verdad imagen		0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	1
Proporción representada en el mapa		0.442	0.024	0.014	0.506	0.014	1

Fuente: elaboración propia.

TABLA 9. Matrices de confusión expresadas en proporción y corregidas (Card, 1982)

<i>a) Año 2000</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>					
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>	
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	0.471	0	0	0	0.471	
	Asentamientos humanos	0	0.012	0	0	0.012	
	Bosque	0	0	0.509	0	0.509	
	Cuerpos de agua	0	0	0	0.008	0.008	
Total verdad imagen		0.471	0.012	0.509	0.008	1	
Proporción representada en el mapa		0.471	0.012	0.509	0.008	1	
<i>b) Año 2007</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>					
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	0.463	0	0	0	0.463	
	Producción agrícola en invernaderos	0	0.006	0	0	0.006	
	Asentamientos humanos	0	0	0.012	0	0.012	
	Bosque	0	0	0	0.506	0.00026	0.50626
	Cuerpos de agua	0	0	0	0	0.01274	0.01274
Total verdad imagen		0.463	0.006	0.012	0.506	0.013	1
Proporción representada en el mapa		0.463	0.006	0.012	0.506	0.013	1
<i>c) Año 2015</i>		<i>Verdad imagen (Clases del mapa)</i>					
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Total verdad terreno</i>
Verdad terreno (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	0.442	0	0	0	0.442	
	Producción agrícola en invernaderos	0	0.024	0	0	0.024	
	Asentamientos humanos	0	0	0.014	0	0.014	
	Bosque	0	0	0	0.506	0.506	
	Cuerpos de agua	0	0	0	0	0.014	0.014
Total verdad imagen		0.442	0.024	0.014	0.506	0.014	1
Proporción representada en el mapa		0.442	0.024	0.014	0.506	0.014	1

Fuente: elaboración propia.



TABLA 10. Coeficientes de los índices de confiabilidad e intervalos de confianza

		<i>Categorías o clases en porcentaje (%)</i>					<i>Confiabilidad global (%)</i>	<i>Intervalo de confianza de la confiabilidad global (%)</i>
		<i>Agricultura de temporal o de riego</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>		
Año 2000	Confiabilidad del usuario	100		100	100	100	100	0
	Error de comisión	0		0	0	0		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del usuario	0		0	0	0		
	Confiabilidad del productor	100		100	100	100		
	Error de omisión	0		0	0	0		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del productor	0		0	0	0		
Año 2007	Confiabilidad del usuario	100	100	100	100	98	99.9898	0.05
	Error de comisión	0	0	0	0	2		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del usuario	0	0	0	0	3.88060202		
	Confiabilidad del productor	100	100	100	99.949	100		
	Error de omisión	0	0	0	0.051	0		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del productor	0	0	0	0	0		
Año 2015	Confiabilidad del usuario	100	100	100	100	100	100	0
	Error de comisión	0	0	0	0	0		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del usuario	0	0	0	0	0		
	Confiabilidad del productor	100	100	100	100	100		
	Error de omisión	0	0	0	0	0		
	Intervalo de confianza de la confiabilidad del productor	0	0	0	0	0		

Fuente: elaboración propia.

cuanto el error de comisión, se observa 0% para la mayoría de las clases; solamente los cuerpos de agua muestran 2% y el intervalo de confianza representa el mismo comportamiento, pero los cuerpos de agua integran 3.88%. La confiabilidad del productor es de 100%, únicamente para el bosque es de 99.949%. Para el error de omisión se observan valores de 0%, excepto el bosque con 0.051%. La confiabilidad global es de 99.9898% y el intervalo de confianza de la confiabilidad global fue de 0.05% (Tabla 10c).

La tabla 11 contiene los valores correspondientes a la probabilidad de asignación de las categorías mapeadas y los coeficientes de la proporción y superficie de cada una de ellas, resultado del ajuste de los errores de clasificación. Dichos valores se obtuvieron para los años 2000, 2007 y 2015. Para los años 2000 (Tabla 11a) y 2015 (Tabla 11c), las categorías no se sometieron a correcciones, producto de la ausencia de errores de omisión y comisión, por lo que las coberturas no presentaron cambios en cuanto a su superficie. En el caso del año 2007 (Tabla 11b), se observa que los cuerpos de agua están sobrerrepresentados en el mapa con 1.3% (10.06 ha), pero en realidad le pertenece 1.27% (9.85 ha). En contraparte, la categoría bosque está subrepresentada con 50.60% (418.06 ha), pero en realidad le corresponde 50.624% (418.25 ha). Las coberturas de agricultura de temporal o de riego, los asentamientos humanos y la producción agrícola en invernaderos no se sometieron a correcciones, debido a que no presentan errores de omisión o comisión.

Dinámica y procesos de cambio (indicadores de cambio e índices de Braimoh)

La tabla 12 integra los resultados correspondientes a los indicadores de cambio del periodo 2000-2007, los cuales expresan que 784.24 ha (95.03%) de la superficie que comprende Progreso Hidalgo se mantiene estable. No obstante, 41.04 ha (4.97%) mostraron cambios en las coberturas y usos del suelo que determinan a este espacio geográfico. Por lo que el cambio total en la zona de estudio fue de 41.04 ha (4.97%), de los cuales 9.36 ha (1.13%) corresponden al cambio neto y 31.68 ha (3.84%) representan los intercambios entre las diferentes categorías. Lo

que refiere a los cambios (pérdidas y ganancias), es notorio que la agricultura de temporal o riego y el bosque son las coberturas con mayores pérdidas (23.04 ha y 16.76 ha, respectivamente). Por su parte, las cubiertas que presentaron ganancias en su superficie fueron la agricultura de temporal y de riego (16.01 ha), bosque (14.44 ha), la producción agrícola en invernaderos (5.19 ha), los cuerpos de agua (3.92 ha) y asentamientos humanos (1.48 ha). Con base en los datos referidos se puede demostrar que la mayor parte de los cambios se asocian a los intercambios entre las diferentes categorías. Asimismo, la agricultura de temporal y de riego fue la cobertura que registró la mayor superficie de cambio neto (7.03 ha), cambio total (39.06 ha) e intercambios (32.03 ha).

La tabla 13 contiene los valores correspondientes a los indicadores de cambio del periodo 2007-2015, los cuales muestran que 804.75 ha (97.51%) del área que comprende Progreso Hidalgo permanece estable, mientras que 20.53 ha (2.49%) expresan cambios en las coberturas y usos del suelo que comprende este territorio. Por lo que el cambio total en la zona de estudio fue de 20.53 ha (2.49%), de los cuales 17.22 ha (2.09%) corresponden al cambio neto y 3.31 ha (0.40%) representa a los intercambios entre las diferentes categorías. Lo que refiere a pérdidas, es notorio que la agricultura de temporal o riego y el bosque son las coberturas que registraron las mayores pérdidas, con 18.71 ha y 1.47 ha, respectivamente. Por su parte, la cubierta que presentó más ganancias en su superficie fue la producción agrícola en invernaderos (14.39 ha). Con base en los valores expresados se puede explicar que la pérdida de la superficie agrícola (temporal y riego) se relaciona con la implementación de la producción agrícola en invernaderos, en específico, al proceso de conversión entre sistemas agrícolas. Asimismo, la agricultura de temporal y de riego fue la categoría que registró la mayor superficie de cambio neto (16.99 ha), cambio total (20.44 ha) e intercambios (3.42 ha); seguido de la producción agrícola en invernaderos con 14.09 ha de cambio neto, 14.70 de cambio total y 0.61 de intercambios.

Los índices de Braimoh para el periodo 2000-2007 expresan que las diferentes coberturas tienden más a per-



TABLA 11. Probabilidades de asignación de las categorías mapeadas y coeficientes de la proporción y superficie de las categorías resultado del ajuste de los errores de clasificación.

a) Año 2000		Probabilidades						Superficie corregida ha	
		Agricultura de temporal o de riego	Producción agrícola en invernaderos	Asentamientos humanos	Bosque	Cuerpos de agua	Superficie ha		Proporción corregida
Sitios de muestreo (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	1		0	0	0	389.06	0.471	389.06
	Asentamientos humanos	0		1	0	0	8.69	0.012	8.69
	Bosque	0		0	1	0	420.36	0.509	420.36
	Cuerpos de agua	0		0	0	1	7.18	0.008	7.18
Proporción representada en el mapa		0.471		0.012	0.509	0.008	825.28	1	825.28
b) Año 2007									
Sitios de muestreo (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	1	0	0	0	0	382.03	0.463	382.03
	Producción agrícola en invernaderos	0	1	0	0	0	5.18	0.006	5.19
	Asentamientos humanos	0	0	1	0	0	9.97	0.012	9.97
	Bosque	0	0	0	1	0.02	418.03	0.50626	418.25
	Cuerpos de agua	0	0.006	0	0	0.98	10.06	0.01274	9.85
Proporción representada en el mapa		0.463	0.006	0.012	0.506	0.013	825.28	1	825.28
b) Año 2015									
Sitios de muestreo (Clases de referencia)	Agricultura de temporal o de riego	1	0	0	0	0	365.03	0.442	365.04
	Producción agrícola en invernaderos	0	1	0	0	0	19.27	0.024	19.28
	Asentamientos humanos	0	0	1	0	0	11.33	0.014	11.33
	Bosque	0	0	0	1	0	417.80	0.506	417.80
	Cuerpos de agua	0	0.006	0	0	1	11.83	0.014	11.83
Proporción representada en el mapa		0.442	0.024	0.014	0.506	0.014	825.28	1	825.28

Fuente: elaboración propia.

TABLA 12. Indicadores de cambio 2000 - 2007.

	<i>Agricultura</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Total Ha/%</i>
<i>Área (ha) 2000</i>	389.057933	420.35951	7.177458	8.685578	0	825.28
<i>%</i>	47.14	50.94	0.87	1.05	0.00	100.00
<i>Área (ha) 2007</i>	382.03	418.03	10.06	9.97	5.19	825.28
<i>%</i>	46.29	50.65	1.22	1.21	0.63	100.00
<i>Persistencia</i>	366.01	403.60	6.14	8.49	0.00	784.24
<i>%</i>	44.35	48.90	0.74	1.03	0.00	95.03
<i>Pérdidas</i>	23.04	16.76	1.04	0.19	0.00	41.04
<i>%</i>	2.79	2.03	0.13	0.02	0.00	4.97
<i>Ganancias</i>	16.01	14.44	3.92	1.48	5.19	41.04
<i>%</i>	1.94	1.75	0.48	0.18	0.63	4.97
<i>Cambio total</i>	39.06	31.20	4.96	1.67	5.19	41.04
<i>%</i>	4.73	3.78	0.60	0.20	0.63	4.97
<i>Cambio neto</i>	7.03	2.33	2.88	1.29	5.19	9.36
<i>%</i>	0.85	0.28	0.35	0.16	0.63	1.13
<i>Intercambios</i>	32.03	28.87	2.08	0.38	0.00	31.68
<i>%</i>	3.88	3.50	0.25	0.05	0.00	3.84

Fuente: elaboración propia.

sistir que a ganar o perder superficie (índices de ganancia - persistencia y pérdida - persistencia). Mientras que el índice de cambio neto - persistencia indica que las categorías de agricultura y bosque presentan valores negativos, lo que significa que son más propensas a perder que a ganar superficie; por el contrario, las clases de cuerpos de agua y asentamientos humanos tienden más a ganar que a perder extensión territorial. En cuanto a la producción agrícola en invernaderos, no fue posible obtener dichos índices, debido que para el año 2000 dicha cobertura no estaba presente en la zona de estudio (Tabla 14).

Para el periodo 2007-2015, los índices de Braimoh expresan que las diferentes coberturas tienden más a persistir que a ganar o perder superficie, excepto la producción agrícola en invernaderos que es más propensa a ganar territorio (índices de ganancia - persistencia y pérdida - persistencia). Por su parte, el índice de cambio neto - per-

sistencia indica que las categorías de agricultura y bosque presentan valores negativos lo que significa que son más susceptibles a perder que a ganar y por el contrario la producción agrícola en invernaderos, los cuerpos de agua y asentamientos humanos tienden más a ganar que a perder superficie (Tabla 15).

Tasas anuales de cambio

Durante el periodo 2000-2007, en Progreso Hidalgo se registraron tasas anuales de cambio que expresan un proceso de reducción en cuanto a la superficie de ciertas coberturas y usos del suelo, como el caso de la agricultura de temporal o riego y el bosque (selva baja caducifolia) que registraron tasas anuales de cambio de -0.25% y -0.07%, respectivamente. Por otra parte, existen coberturas y usos del suelo que indican un proceso de expansión en relación con su superficie, como los cuerpos de agua y los asenta-



TABLA 13. Indicadores de cambio 2007-2015.

	<i>Agricultura</i>	<i>Bosque</i>	<i>Cuerpos de agua</i>	<i>Asentamientos humanos</i>	<i>Producción agrícola en invernaderos</i>	<i>Total Ha/%</i>
<i>Área (ha) 2007</i>	382.03	418.03	10.06	9.97	5.19	825.28
<i>%</i>	46.29	50.65	1.22	1.21	0.63	100.00
<i>Área (ha) 2015</i>	365.04	417.80	11.83	11.33	19.28	825.28
<i>%</i>	46.29	50.65	1.22	1.21	0.63	100.00
<i>Persistencia</i>	363.31	416.56	10.02	9.97	4.88	804.75
<i>%</i>	44.02	50.48	1.21	1.21	0.59	97.51
<i>Pérdidas</i>	18.71	1.47	0.04	0.00	0.30	20.53
<i>%</i>	2.27	0.18	0.00	0.00	0.04	2.49
<i>Ganancias</i>	1.72	1.24	1.81	1.36	14.39	20.53
<i>%</i>	0.21	0.15	0.22	0.17	1.74	2.49
<i>Cambio total</i>	20.44	2.71	1.85	1.36	14.70	20.53
<i>%</i>	2.48	0.33	0.22	0.17	1.78	2.49
<i>Cambio neto</i>	16.99	0.23	1.77	1.36	14.09	17.22
<i>%</i>	2.06	0.03	0.21	0.17	1.71	2.09
<i>Intercambios</i>	3.44	2.48	0.08	0.00	0.61	3.31
<i>%</i>	0.42	0.30	0.01	0.00	0.07	0.40

Fuente: elaboración propia.

TABLA 14. Índices de Braimoh 2000-2007.

<i>Categoría</i>	<i>Ganancia/Persistencia</i>	<i>Pérdida/Persistencia</i>	<i>Cambio neto/Persistencia</i>
Agricultura	0.044	0.063	-0.019
Bosque	0.036	0.042	-0.006
Cuerpos de agua	0.639	0.170	0.470
Asentamientos Humanos	0.174	0.023	0.151
Producción agrícola en invernaderos	0.000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia.

TABLA 15. Índices de Braimoh 2007-2015.

<i>Categoría</i>	<i>Ganancia/Persistencia</i>	<i>Pérdida/Persistencia</i>	<i>Cambio neto/Persistencia</i>
Agricultura	0.005	0.052	-0.047
Bosque	0.003	0.004	-0.001
Cuerpos de agua	0.181	0.004	0.177
Asentamientos Humanos	0.137	0.000	0.137
Producción agrícola en invernaderos	2.947	0.062	2.885

Fuente: elaboración propia.

mientos humanos que registraron tasas anuales de cambio de 5.73% y 2.11%, respectivamente. En este mismo periodo se observó que para el año 2000 no existían los invernaderos; fue hasta 2007 cuando los habitantes de dicho territorio establecieron este tipo de cobertura/uso del suelo, ocupando una superficie de 5.18 ha.

Para el periodo 2007-2015 se registraron tasas anuales de cambio de -0.55% y -0.006% en la agricultura de temporal o riego y en el bosque, respectivamente. En ambos casos se muestra un proceso de reducción en cuanto a su superficie. En contraste, las coberturas y usos del suelo que manifestaron un proceso de expansión con respecto a su área fueron los invernaderos (33.95%), los cuerpos de agua (2.2%) y los asentamientos humanos (1.7%) (Tabla 16).

Factores que determinan el cambio de cobertura y uso de suelo

Los principales cambios de cobertura y uso de suelo en progreso Hidalgo son asociados a la agricultura de temporal o de riego y a la producción agrícola en invernaderos, denominado como conversión en sistemas agrícolas. Es así que existen múltiples y diversos factores que han propiciado el cambio en la forma de producción agrícola, principalmente se encuentran los ambientales y socioeconómicos.

Dentro de los factores ambientales se incluyen los siguientes: a) protección de cultivos ante precipitaciones, granizadas y/o plagas; b) estado y condición del suelo

(buena calidad, baja calidad y deteriorado) y c) tipo o unidad de suelo (Vertisol, háplico y Litosol háplico).

En el caso de los factores socioeconómicos se integran: a) programas gubernamentales (apoyos económicos para la implementación de invernaderos); b) accesibilidad a parcelas (el ser una zona con características aptas para el desarrollo de la agricultura generó el interés por productores de localidades vecinas para la compra de terrenos agrícolas, principalmente para la implementación de invernaderos para la producción de flor de corte y rosa); c) cantidad de producción (los agricultores y productores que tienen baja producción o que el rendimiento de sus cultivos ha disminuido buscan la implementación de invernaderos para incrementar su producción y por ende sus ganancias); y d) comercialización de productos (los agricultores que tienen un mercado de venta sólido “todo el producto ya tiene comprador” cuentan con una economía firme y se basan en una agricultura de temporal o riego, y, por el contrario, aquellos productores que no tienen una comercialización estable optan por el cambio a la producción agrícola en invernaderos, ya que así pueden producir todo el año y competir en el mercado en fechas que los agricultores de temporal o riego no oferten productos).

DISCUSIÓN

Los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación son el referente para conocer las trayectorias de los distintos

TABLA 16. Superficie y tasas anuales de cambio por categoría y periodo.

<i>Cobertura\Año</i>	<i>2000</i>	<i>2007</i>	<i>Tasa (%)</i> <i>2000-2007</i>	<i>2015</i>	<i>Tasa (%)</i> <i>2007-2015</i>
Agricultura de temporal o riego	389.0579	382.0273	-0.2582	365.0361	-0.5560
Producción agrícola en invernaderos	0.0000	5.1874	0.0000	19.2772	33.9519
Bosque	420.3595	418.0344	-0.0790	417.8033	-0.0069
Cuerpos de agua	7.1775	10.0606	5.7384	11.8312	2.2000
Asentamientos humanos	8.6856	9.9708	2.1138	11.3327	1.7074
Total (hectáreas)	825.2805	825.2805		825.2805	

Fuente: elaboración propia.



procesos de cambio que existen en determinado territorio (Mas y Flamenco, 2011). Las actividades económicas que practican las distintas sociedades del mundo juegan un papel importante en la dinámica de uso de suelo y en el deterioro ambiental. En Progreso Hidalgo, la pérdida de la rentabilidad y capacidad productiva agrícola ocasionó cambios en las coberturas de uso de suelo y vegetación, uno de ellos es la implementación de la agricultura tecnificada controlada. Dicha transformación está enfocada al establecimiento, desarrollo y mecanización de productos con fines comerciales, provocando con ello severos impactos en los componentes del ambiente.

Para comprender la dinámica y los procesos de cambio en Progreso Hidalgo, fue necesario realizar el estudio de cambios de cobertura y uso de suelo, éstos son hechos y fenómenos observables, dado que ocurren en cualquier sitio o lugar de la superficie terrestre, y son resultado de las interacciones e interrelaciones que establecen los factores geográficos de un determinado territorio. Su estudio implica la implementación de múltiples y diversos métodos estadísticos orientados a describir, evaluar, analizar, explicar y predecir, en términos cuantitativos, la dinámica de uso del suelo y los procesos de cambio que ocurren en las distintas coberturas terrestres que caracterizan a un espacio geográfico (Camacho, 2016).

Los estudios de los cambios de cobertura y el uso de suelo se fundamentan en los mapas temáticos de uso de suelo y vegetación. Estos insumos se elaboran a partir de múltiples y diversos métodos estandarizados, los cuales han sido demostrados y aprobados por la comunidad científica especializada en la temática para adquirir rigor científico y autenticidad. De acuerdo con Mas *et al.* (2003), los mapas de cobertura y uso del suelo son uno de los insumos más importantes, ya que a partir de estos los especialistas en el área y, sobre todo, las autoridades responsables en la temática determinan, establecen e implementan políticas públicas; razón por la cual deben ser verificados previo a la toma de decisiones. Esto es posible mediante el proceso de evaluación de la confiabilidad temática.

Los mapas de uso de suelo y vegetación de los años 2000, 2007 y 2015 de Progreso Hidalgo, expresan una

confiabilidad global mayor a 99%, valor que rebasa el porcentaje mínimo permitido para la validación cartográfica que corresponde a 80% (Franco, Regil y Ordóñez, 2006; Lesschen, Verburg y Staal, 2005; Mas *et al.*, 2003). A su vez, estos mapas se validaron favorablemente, mediante la aplicación del método de muestreo aleatorio estratificado (Mas *et al.*, 2003; Mas y Couturier, 2011; Stehman, 2000). Las ventajas de la aplicación de dicho método se respaldan en los siguientes aspectos, evitó que las coberturas representadas en los mapas no se sobremuestrearan en relación con las de menor extensión (Card, 1982) y permitió optimizar el tiempo destinado en la ubicación y selección espacial de los sitios de verificación (ortofotos e imagen de satélite) ejecutados mediante el juicio de experto (Congalton *et al.*, 1998).

A pesar de la aportación de distintas metodologías, métodos y técnicas para abordar los estudios de cambio de cobertura y uso de suelo, su ejecución estará sujeta a las necesidades del investigador o a las características de la investigación para el cumplimiento y logro de los objetivos establecidos, es así que en comparación con Rosete (2014) y Ballesteros (2013), se aplicaron diversas metodologías, métodos y técnicas, por lo cual se obtuvieron resultados y productos (mapas, tablas y matrices) diversos, y esto no quiere decir que sean incorrectos o mejores, simplemente se adaptaron a las necesidades de cada investigador y su objeto de estudio.

Los cambios ocurridos en las distintas coberturas que comprende Progreso Hidalgo están relacionados significativamente con el proceso de conversión entre sistemas agrícolas, puesto que para el periodo 2000-2007 la agricultura (temporal y riego) y el bosque son las categorías con mayores pérdidas con 23.04 ha y 16.76 ha, respectivamente; por su parte, la cobertura que obtuvo mayores ganancias fue la producción agrícola en invernaderos con 5.19 ha. Para el periodo 2007-2015, nuevamente la agricultura de temporal y riego es la cobertura con más pérdidas con 18.71 ha, pasando a producción agrícola en invernaderos 14.39 ha. Según Ballesteros (2013), la agricultura comercial tecnificada (invernaderos) en Progreso Hidalgo registró un aumento de 6.1 ha en un periodo de cinco años, es decir,

en el año 2005 se establecieron 7.86 ha y para 2010 esta superficie se incrementó a 13.96 ha.

Los resultados exhibidos representan que evidentemente la zona de estudio experimentó un proceso de conversión, puesto que en el periodo 2000-2007 la agricultura (temporal y riego) presentó una tasa de pérdida de -0.25%. Por su parte, la producción agrícola en invernaderos expresó un aumento, ya que en el año 2000 no había presencia de dicha cobertura, pero para el año 2007 su superficie fue de 5.19 ha. Para el periodo 2007-2015, la agricultura de temporal y de riego nuevamente representó una tasa de decremento de -0.55%, mientras que la producción agrícola en invernaderos mostró una tasa de incremento de 33.95%. Este comportamiento puede asociarse a la implementación, establecimiento, desarrollo y expansión de nuevos espacios destinados a la producción agrícola en invernaderos. En comparación con Ballesteros (2013), se difieren los resultados, ya que el bosque presentó una tasa de deforestación de -32.18%, la agricultura tradicional experimentó una tasa de crecimiento de 19.09%, mientras que la agricultura comercial tecnificada representó un incremento de 77.51%.

Al ser la agricultura de temporal o de riego la cobertura con mayores pérdidas de extensión territoriales y la producción agrícola en invernaderos la que obtuvo mayores ganancias en cuanto superficie, es notorio que los principales cambios de cobertura y uso de suelo están asociados al proceso de conversión agrícola. Puesto que anteriormente las propiedades físicas, biológicas y químicas de las unidades del suelo, en conjunto con las condiciones climáticas, topográficas e hidrográficas producían un ambiente favorable para la implementación y desarrollo de diferentes cultivos agrícolas en Progreso Hidalgo (Juan, 2003). Pero en la actualidad existen múltiples y diversos factores ambientales y socioeconómicos que han propiciado el cambio en la forma de producción agrícola.

Actualmente, en Progreso Hidalgo uno de los principales factores que ha ocasionado cambios en las coberturas de uso de suelo y vegetación (asociados al proceso de conversión agrícola) es la implementación de programas y apoyos gubernamentales. Por su parte, Rosete (2014) esta-

blece que las áreas o usos agropecuarios han decrecido en los últimos seis años del periodo 1976-2007, debido a la ausencia de políticas o programas gubernamentales que favorezcan la producción agropecuaria de los pequeños y medianos productores.

CONCLUSIONES

Para esta investigación, el método de clasificación que se aplicó fue la interpretación visual interdependiente, que permitió minimizar los errores cartográficos que se producen durante el proceso de clasificación (ortofotos digitales de los años 2000 y 2007 e imagen de satélite del año 2015), obteniendo con ello altos porcentajes de confiabilidad en los mapas clasificados.

Según los resultados obtenidos durante el periodo de estudio, se observó la implementación de la agricultura tecnificada controlada (en el año 2000 no había presencia de invernaderos, para el 2007 su superficie fue de 5.19 ha y para el 2015 se incrementó a 19.28 ha) en Progreso Hidalgo. Por otra parte, las coberturas de bosque, los cuerpos de agua y asentamientos humanos no presentaron cambios significativos en cuanto a su superficie. Por el contrario: la agricultura (temporal y de riego) disminuyó su extensión territorial.

En un periodo de 15 años (2000-2015) se muestra que Progreso Hidalgo se encuentra inmerso en un proceso de conversión entre sistemas agrícolas, principalmente de una agricultura de temporal y de riego a una producción agrícola en invernaderos. Puesto que la agricultura de temporal y de riego fue la cobertura que presentó mayores pérdidas de superficie durante dicho periodo, mientras que la producción agrícola en invernaderos fue la categoría que obtuvo mayores ganancias en cuanto extensión territorial en el mismo periodo de tiempo. Lo que indica fundamentalmente que se generó un cambio en la forma de producción por los agricultores.

Con base en el trabajo de campo, a través de los recorridos *in situ* y la aplicación de la observación directa, se puede deducir que la superficie que comprende la producción agrícola en invernaderos se ha expandido y sigue creciendo considerablemente sobre la agricultura de temporal



y de riego esto se debe a factores ambientales (tipo-estado-condición del suelo, precipitación y granizada) y socioeconómicos (implementación de programas-apoyos gubernamentales, accesibilidad, cantidad de producción por hectárea y tipo comercialización de productos).

Entre los factores más importantes que han propiciado el proceso de conversión agrícola en Progreso Hidalgo son: la protección de cultivos, los programas o apoyos gubernamentales, la accesibilidad a parcelas, la cantidad de producción y el tipo de comercialización de los productos.

REFERENCIAS

- Ballesteros, A. (2013). Cambio de uso de suelo en una comunidad de transición ecológica. Progreso Hidalgo, Estado de México: impactos y consecuencias (2005-2010). Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México.
- Braimoh, A. (2006). Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113(1-4), 254-263.
- Camacho, J. (2016). Cambios de cobertura y uso del suelo en el Surponiente del Estado de México. Modelos dinámicos y prospectivos. Aportación teórica – metodológica en las ciencias ambientales. Disertación doctoral no publicada, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México.
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan P., J. I., Pineda J., N. B., Cadena V., E. G., Bravo P., L. C. y Sánchez L., 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
- Card, H. (1982). Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(3), 431-439.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2015). Portal de geoinformación. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx>.
- Congalton, R. (1988). A comparison of sampling scheme use in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(5), 593-600.
- Congalton, R. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of the Environment*, 37(1), 35-46. doi: 10.1016/0034-4257(91)90048-b.
- Congalton, M., Martin, M., Newman, S. y Aber, J. (1998). Determining forest species composition using high spectral resolution remote sensing data. *Remote Sensing of the Environment*, 65(3), 249-254. doi: 10.1016/s0034-4257(98)00035-2.
- Franco, S., Regil, H. y Ordóñez, J. (2006). Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosques*, 12(1), 17-28. doi: 10.21829/myb.2006.1211247.
- Halfpeter, G. (1964). La entomofauna americana, ideas acerca de su origen y distribución. *Folia Entomológica Mexicana*, 1, 1-108. Obtenido de <http://www.sea-entomologia.org/>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2015). Marco Geoestadístico Nacional. Obtenida el 29 de septiembre de 2015 de <http://www.inegi.org.mx>.
- Juan, J. (2003). Tiempo con dinero y sin dinero. Agricultura tradicional y comercial en una zona de transición ecológica del Estado de México. Disertación doctoral no publicada, Universidad Iberoamericana. México.
- Juan, J. y Madrigal, D. (2004). Manejo del agua en una comunidad de transición ecológica del Estado de México. *Revista Perspectivas Latinoamericanas*, 1, 144-157.
- Juan, J. (2006). *Manejo del ambiente y riesgos ambientales en la región fresera del Estado de México*. España: Eumed.Net.
- Juan, J. (2007). *Multifuncionalidad de los Sistemas de Barrancas en México*. Argentina: Editorial Dunken.
- Lesschen, J., Verburg, P. y Staal, S. (2005). *Statistical methods for analysing the spatial dimension of change: Land use and farming systems*. LUCC Report Series No. 7. Países Bajos: The International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya y Wageningen University.
- Mas, J., Reyes, R. y 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. y Couturier, S. (2011). Evaluación de bases de datos cartográficas. En F. Bautista (Ed.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (675-703). México, D.F., México: Instituto de Geografía-Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mas, J. y Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/ uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, 5(1), 1-24.
- Millington, A. y Alexander, R. (2000). Vegetation mapping in the last three decades of the twentieth century. En A. Millington y R. Alexander (Eds.), *Vegetation mapping* (321-331). Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons.
- Moscoso, C. (2006). Expansión física y cambios de coberturas y usos de suelo en el Área Metropolitana de Valparaíso, V Región, Chile: período 1975-2004. [Informe Práctica Profesional, Laboratorio de Medio Ambiente y Territorio Departamento de Geografía]. Universidad de Chile.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. (1a ed.). Roma, Italia: FAO Forestry Paper.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2000). *Reglas de operación de la Alianza para el Campo 2000* (1a ed.). Ciudad de México, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- Palerm, J. (2008). *Guía y lecturas para una primera práctica de campo*. Querétaro, México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Pauleit, S., Ennos, R. y Golding, Y. (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*, 71(2-4), 295-310. doi: 10.1016/j.landurbplan.2004.03.009
- Pineda, N., Bosque, J., Gómez, M. y Franco, R. (2011). Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del Estado de México en el período 1993-2000. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 9-34.
- Pontius, R., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 101(2-3), 251-268. doi: 10.1016/j.agee.2003.09.008
- Ramírez J. y Juan, J. (2008). Utilización del chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en los procesos agrícolas de la comunidad de Progreso Hidalgo, Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola*, Universidad Autónoma Chapingo, 40, 19-25.
- Romero, H. (2006). Análisis espacial del crecimiento urbano y de sus efectos sobre la sostenibilidad ambiental de las metrópolis y ciudades intermedias Chilenas. Disertación doctoral no publicada, Universidad de Zaragoza. España.
- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N. Salinas-Chávez, E. y Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21-35. doi: 10.21829/myb.2014.201173
- Stehman, S. y Czaplewski, R. (1998). Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles. *Remote Sensing of Environment*, 64(3), 331-344. doi: 10.1016/s0034-4257(98)00010-8
- Stehman, S. (2000). Practical implications of design-based sampling inference for thematic map accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 72, 35-45.
- Veldkamp, A. y Lambin, E. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 1-6.
- Xiang, W. N. y Clarke, K. C. (2003). The use of scenarios in landuse planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(6), 885-909.

Manuscrito recibido el 8 de febrero de 2017.
Aceptado el 7 de junio de 2017.

Este documento se debe citar como:
Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. A. y Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y Bosques*, 23(3), 39-60. doi: 10.21829/myb.2017.2331516