

# TENDENCIA DOMINANTE EN LA FUNCIONALIDAD DEL ESPACIO URBANO-RURAL EN LA CUENCA DE MÉXICO

ALDO DANIEL JIMÉNEZ ORTEGA\*  
JOSÉ MAURICIO GALEANA PIZAÑA\*

## Introducción

El medio rural es un espacio multidimensional en el que convergen los ámbitos sociales, económicos y ambientales, y que se delimita por el tamaño de su población. Se consideran rurales aquellas localidades con menos de 2500 habitantes (INEGI, 2014). El medio rural concentra el 23% de la población del país y el 98.8% de la superficie total del territorio (INEGI, 2015). Por un lado, es proveedor de la mayor parte de los productos agroalimentarios, de mano de obra y de un importante acervo cultural derivado de los procesos históricos de la coevolución entre las personas y el ecosistema, además de que constituye un aliado en la conservación de los recursos naturales (FAO, 2009; Balvanera y Cotler, 2009). Por otra parte, constituye el espacio donde se generan un conjunto de servicios ecosistémicos y agroecosistémicos que dan soporte natural a las actividades del medio urbano y periurbano (Lee, Ahern y Yeh, 2015).

Entre los principales servicios ecosistémicos que proveen las áreas rurales destacan la regulación de la

erosión, de la calidad del aire y del clima; el control de plagas y de vectores de enfermedades; la infiltración y recarga de acuíferos, así como la obtención de diversos productos como madera, resinas y leña, entre otros (Balvanera y Prabhu, 2004).

El medio urbano, a su vez, genera beneficios hacia las zonas rurales en términos de la demanda de mano de obra, acceso a mercados potenciales, reducción de costos y tiempo de traslado por el uso de infraestructura carretera, cercanía a los distintos servicios de salud, educación, transporte y culturales entre otros, que se aglomeran en las zonas urbanas (Pensado, 2003).

La relación urbano-rural y rural-urbana engloba el conjunto de flujos de bienes, servicios y factores entre los componentes de ambos medios, lo cual requiere de un proceso de intervención cuando las condiciones

---

\* Investigador del Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo, A.C.

de equilibrio del sistema resultan alteradas, considerando incluso las relaciones intrarrural e intraurbana.

A pesar de las interacciones de beneficio mutuo entre ambos medios, los inevitables cambios en el uso de suelo derivados de la concentración de la población y de las actividades económicas asociadas, así como de la expansión no planificada de asentamientos humanos, han dado como resultado la alteración del ambiente natural y los flujos biogeoquímicos (Kroeger y Casey, 2007). En este sentido, los estudios de procesos de cambio constituyen un referente importante, dado que son la base para analizar las tendencias de una diversidad de cambios de uso de suelo, como es el caso de la deforestación, degradación y urbanización, entre otros, de una región determinada (Lambin *et al.*, 2001); dicho en otras palabras, es la expresión dinámica de las actividades humanas sobre un espacio (Platt, 2004).

El tiempo es una dimensión fundamental para entender y modelar la evolución de los fenómenos geográficos, pues se considera que las actividades espacio-temporales dependen directamente de la transformación del espacio. El tiempo se puede abordar desde dos enfoques principales: a) el absoluto, donde el espacio y tiempo son la materia de estudio: el espacio un receptor de objetos y el tiempo la duración ilimitada que se extiende a través del pasado, el presente y el futuro, y b) el relativo, donde el análisis se hace en función de los objetos y eventos como materia de estudio, y el espacio y tiempo emergen de las relaciones entre objetos (Peuquet, 1994; Claramunt, Parent y Thériault, 1997).

Los procesos de cambio pueden modificar el paisaje de diversas formas, como es el caso de la existencia misma de una entidad (aparición y desaparición en el espacio-tiempo de una cobertura vegetal), su clasificación (el paso de una parcela agrícola a lote industrial), los valores de sus atributos temáticos (el cambio de precio de los lotes y la variabilidad de los rendimientos agrícolas), los valores de sus atributos espaciales (as-

pectos geométricos de las entidades), sus relaciones temáticas (cambio de propietario de un predio) y sus relaciones espaciales (regularización de asentamiento humanos) (Claramunt, Parent y Thériault, 1997).

Estas modificaciones ayudan a definir los procesos de cambio básicos de las entidades así como los intercambios entre un grupo de ellas, como señalan Claramunt, Parent y Thériault (1997):

- a) Aparición de un objeto o entidad que no tiene precedente en el tiempo.
- b) Desaparición de un objeto o entidad que no tiene una versión subsecuente en el tiempo.
- c) Estabilidad o permanencia donde los objetos o entidades tiene el mismo estado en dos tiempos dados.
- d) Expansión, contracción y deformación de objetos o entidades mediante la transformación geométrica en términos de su superficie y forma.
- e) Desplazamientos y rotación como movimientos que trasladan y modifican la orientación de las entidades u objetos.

Las alteraciones asociadas al capital natural han puesto en riesgo la provisión de diversos servicios ecosistémicos que son fundamentales para las áreas urbanas y periurbanas, tales como la recarga de acuíferos, la preservación de la biodiversidad, la regulación del microclima y de la calidad del aire y agua, así como los servicios culturales, entre otros (Martínez *et al.*, 2009; Weng, 2007).

Entre los principales factores de riesgo destacan los de origen antropogénico, como son los patrones dispersos de asentamientos humanos irregulares, el desarrollo de infraestructura y vivienda con condiciones precarias en el suministro de servicios básicos, el incremento de desechos sólidos y desperdicios tóxicos, la sobreexplotación de acuíferos, la alteración del curso de los ríos y la remoción de la cobertura vegetal, entre otros (Aguilar, 2008). La pérdida de servicios

agroecosistémicos derivada de cambios en el uso de suelo y en la vegetación por crecimiento urbano resulta irreversible en la mayoría de los casos debido a la contaminación y a la falta de inversiones destinadas a mantener el entorno.

Estas consideraciones se han abordado considerando a la unidad de análisis como un ecosistema urbano, definido como aquellas áreas donde la cobertura de infraestructura construida representa una amplia proporción de la superficie, y en la que existe una densidad elevada de habitantes (Pickett *et al.*, 2001). El componente exterior a estas áreas representa la "infraestructura verde" periurbana, integrada por todos los espacios de cobertura vegetal y cuerpos de agua, en los que se generan los beneficios para las áreas urbanas en términos de servicios ecosistémicos y cuya alteración afecta considerablemente el bienestar de la población que ahí habita (European Environmental Agency, 2011; Sutton y Anderson, 2016).

El enfoque de ecosistema urbano permite comprender las interacciones complejas entre los diferentes elementos que componen el sistema en estudio, y que dan lugar a los cambios en el uso de suelo. A partir del descubrimiento de las interacciones complejas se pueden definir estrategias de intervención que contribuyan a mejorar la calidad y resiliencia de la calidad de vida de la población urbana y periurbana, considerando la sustentabilidad de los recursos naturales (Gómez *et al.*, 2013).

En este contexto, la dinámica de los procesos de cambio en el uso de suelo es compleja pues depende de las interacciones entre los factores ambientales y socioeconómicos que suceden en diferentes escalas (Veldkamp y Verburg, 2004). De ahí surge la necesidad de crear escenarios que permitan generar proyecciones de transición en el uso de suelo y comprender el desarrollo de los patrones de cambio (Merlín-Urbe *et al.*, 2012).

Las herramientas de generación de escenarios a partir de modelos de uso de suelo permiten ana-

lizar las tendencias de la cobertura vegetal, identificar las causas de los cambios y coadyuvar a la toma de decisiones en la planeación y evaluación territorial (Verburg y Veldkamp, 2004). Existen diversos modelos para obtener escenarios de cambio en el uso de suelo y que responden a diferentes objetos de estudio, como lo son las dinámicas en la agricultura, la vegetación o la expansión urbana, por citar algunos casos (Chaudhuri y Clarke, 2013; Kidron *et al.*, 2015; Yi y Lam, 2015; Xu *et al.*, 2015).

De acuerdo con Han *et al.* (2015), se pueden distinguir tres categorías de modelos de uso de suelo: los modelos estadístico-empíricos, los modelos basados en agentes para la simulación de escenarios abordados desde la complejidad y los modelos espacialmente explícitos o basados en reglas, que se emplean con el propósito de determinar patrones de cambio en el uso de suelo e identificar las áreas donde éstos ocurren.

En cualquier caso, los modelos tienen limitaciones y ninguno es capaz de incluir todas las relaciones complejas que dan lugar a los cambios en el uso de suelo; por lo tanto, los escenarios no son predicciones del futuro, sino alternativas para obtener aproximaciones a problemas complejos de una forma espacialmente explícita a través de integrar diferentes factores biofísicos y socioeconómicos que intervienen en las modificaciones de las coberturas (Carter *et al.*, 2001; Davis, 2002; Rounsevell *et al.*, 2005).

El presente estudio tiene como objetivo identificar las relaciones urbano-rurales desde una perspectiva de ecosistema urbano mediante el análisis de procesos de cambio de uso de suelo en la Cuenca de México. Asimismo, busca generar un escenario tendencial que permita la identificación y proyección de patrones espaciales de la expansión de los sistemas productivos a partir de las tasas de cambio observadas, de tal manera que contribuya a determinar los posibles efectos en la funcionalidad del área de estudio.

## Método

Se consideró a la Cuenca de México como unidad territorial de análisis en tanto que es un espacio cuyo territorio se interconecta a través de los flujos hídricos, de nutrientes y de materias que integran un conjunto de ecosistemas, donde se reconocen los vínculos entre sus zonas altas y bajas. Estas atributos hacen de la Cuenca una unidad física natural pertinente para el estudio y gestión de los recursos naturales, en particular para el análisis de los componentes y flujos que intervienen en el cambio de uso de suelo y la provisión de servicios ecosistémicos a la población urbana (Cotler, 2010; Garrido *et al.*, 2010).

El estudio se llevó a cabo a partir de dos niveles de análisis: procesos de cambio en el uso de suelo y la vegetación entre 1976 y 2011, y escenario tendencial de los sistemas productivos para el año 2030, en el que se incluyeron los cambios de estructura en el uso de suelo y vegetación en las zonas de expansión urbana proyectada a ese año.

La tarea de identificación de los procesos de cambio del uso de suelo se llevó a cabo mediante la información de las Series de Uso de Suelo y Vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) correspondientes a los años 1976, 1993, 2002, 2007 y 2011. Se procedió a efectuar una reagrupación de las clases de uso de suelo y vegetación de las cinco series, las cuales se reclasificaron en los siguientes cuatro grupos:

- *Vegetación*: diferentes tipos de vegetación primaria, vegetación secundaria, humedales, matorrales y pastizales naturales.
- *Sistemas productivos agropecuarios*: agricultura y pastizales inducidos.
- *Sin vegetación*: áreas desprovistas de vegetación y sin vegetación aparente.
- *Urbano*: zonas de asentamientos humanos.

Una vez reclasificada la información, se realizó una superposición espacial o cruce de mapas a través de la fusión o unión geométrica de las entidades espaciales de cada par de series en el tiempo. Los procesos de cambio fueron así determinados para los siguientes periodos: 1976-1993, 1993-2002, 2002-2007 y 2007-2011. Posteriormente, para resolver la atomización de los mapas generada sobre todo por el efecto de borde derivado de la fusión entre series, se realizó un proceso de generalización cartográfica por área mínima cartografiable para cada intervalo de tiempo, a partir de los criterios que estipula el INEGI (50 hectáreas para vegetación y 25 hectáreas para uso de suelo). A partir de lo anterior se obtuvo la combinatoria de clases, con las cuales se agruparon los procesos de cambio en el área de estudio, su superficie y porcentaje con respecto al total de la Cuenca de México.

El escenario tendencial de los sistemas productivos se construyó mediante la herramienta Scenario Generator de InVEST, desarrollada por las universidades de Stanford y Minnesota, que permite elaborar modelos basados en funciones de producción que definen cómo y en qué medida la estructura de las coberturas se ve afectada por diferentes factores en distintas escalas de análisis. Así, es posible observar patrones de contracción-expansión de las clases a partir de la definición de reglas como la cantidad de cambio esperado, la probabilidad de transición y la definición de factores que influyen en el cambio.

Para la calibración del escenario tendencial se efectuó la clasificación en tres imágenes de satélite de los sensores Landsat 7, 5 y 8, correspondientes a los años 2000, 2007 y 2015, respectivamente, a las que previamente se aplicó una corrección atmosférica mediante el método Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH). Se utilizó el método de clasificación de máxima verosimilitud para detectar cuatro clases: sistemas productivos, vegetación, cuerpos de agua y otras clases. Dichas clasificaciones se calibraron con puntos derivados tanto de las

CUADRO 1. Cálculo de la superficie susceptible de cambio, 2015-2030

Proceso	Superficie 2000-2007 (ha)	Superficie 2007-2015 (ha)	Tasa de cambio (%)	Superficie susceptible a cambio, 2030 (ha)	% respecto a la cobertura inicial	% respecto a la suma de ambas superficies
De vegetación a sistemas productivos	25 010.3	39 942.7	59.71	63 790.5	19.31	68.18
De sistemas productivos a vegetación	52 038.6	39 363.0	-24.36	29 775.0	4.98	31.82

Series de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI como de imágenes de mayor resolución espacial (SPOT-5 y RapidEye).

Entre los supuestos de este modelo se consideró que tanto los cuerpos de agua como “otras clases” permanecen constantes en el tiempo, de tal manera que el único proceso que puede ocurrir es la expansión de los sistemas productivos a costa de la vegetación. Para la superficie de asentamientos humanos, se incorporó el escenario de expansión de la mancha urbana que desarrolla Corona en este mismo volumen<sup>1</sup>.

La cantidad de superficie susceptible de cambio para el año 2030 se definió de manera previa mediante cálculo de variación de las tasas de cambio en la superficie del proceso de vegetación a sistemas productivos, correspondiente a los periodos 2000-2007 y 2007-2011. El valor absoluto que se obtuvo a partir de dicho vector se normalizó con la superficie de sistemas productivos del año 2015 (cuadro 1).

La probabilidad y la prioridad de transición de este proceso se establecieron a partir de la proporción de superficie susceptible de cambio proyectada, respecto de la suma de las superficies susceptibles

de cambio correspondientes a los procesos de sistemas productivos a vegetación y de vegetación a sistemas productivos.<sup>2</sup>

Se consideró que la cercanía a carreteras pavimentadas, terracerías, asentamientos humanos con población entre 2500 a 14 999 habitantes, así como a ciudades de más de 15 000 habitantes son factores que influyen en la variación positiva del proceso de cambio de sistemas productivos a vegetación. En ese sentido, los caminos constituyen un incentivo para la expansión de la actividad agropecuaria, en particular por su papel vinculador a diversos mercados (Ferraz, 2001).

Una vez definidos estos criterios, se añadieron restricciones al modelo; es decir, las áreas donde no es posible que crezca la superficie de los sistemas productivos. En ese sentido, se consideró que dicha expansión no puede darse en zonas donde se ubican áreas naturales protegidas federales y municipales, cuerpos de agua y zonas con pendiente y altitud no aptas. Estas últimas se obtuvieron a través de un promedio de condiciones óptimas de pendiente y altitud a su nivel máximo (Sotelo *et al.*, 2012) para los

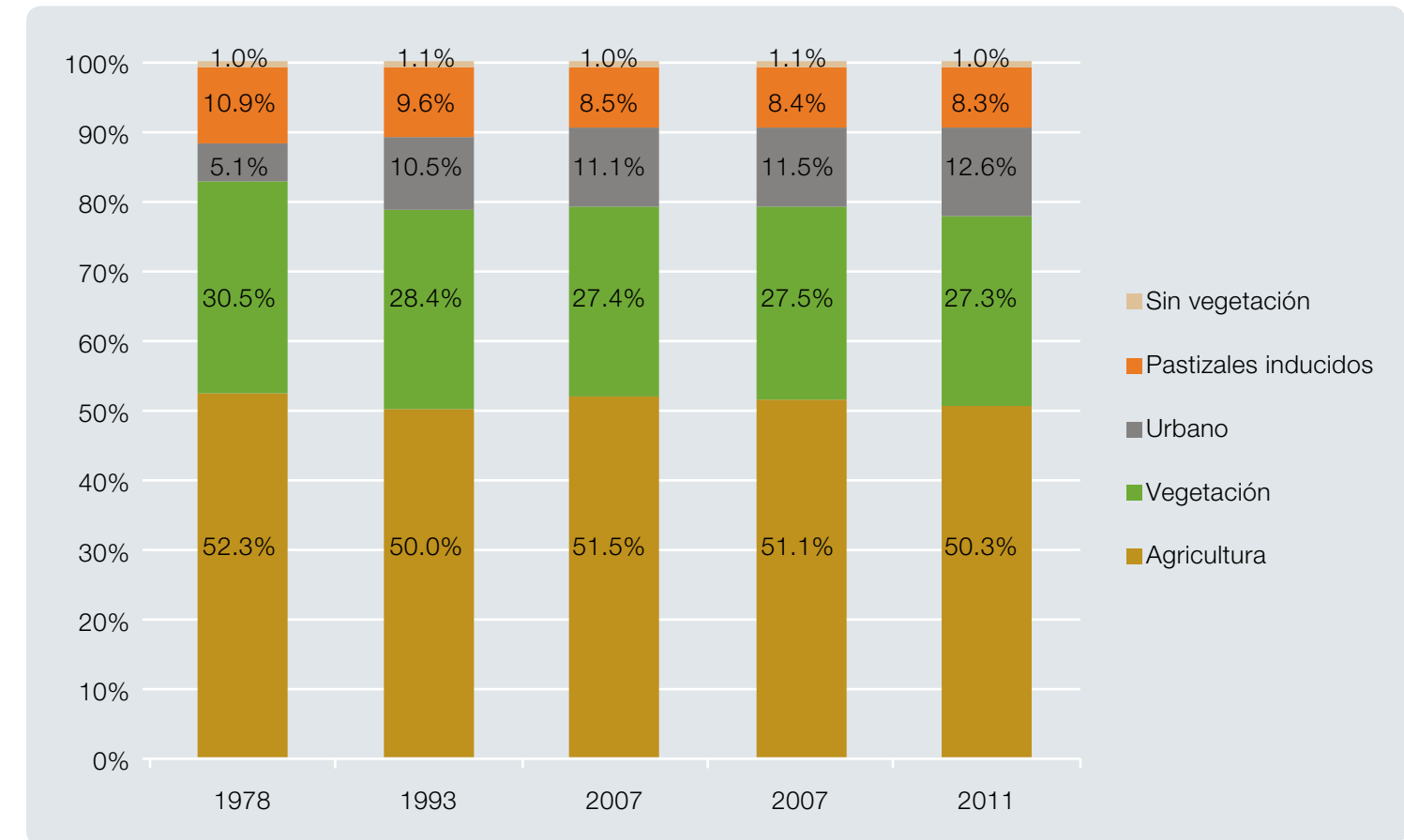
<sup>1</sup> Ver el capítulo “Modelo espacial y pronóstico de la expansión de la mancha urbana, 1995-2030” en la sección I de este libro.

<sup>2</sup> La superficie susceptible de cambio de vegetación a sistemas productivos se calculó únicamente para la obtención de la suma de la superficie susceptible de cambio y no así para su integración al escenario.

CUADRO 2. Cálculo las restricciones de altitud y pendiente a partir de los principales cultivos

Cultivo	Ciudad de México (ha)	Estado de México (ha)	Hidalgo (ha)	Suma (ha)	% de la superficie sembrada total de las tres entidades	% ajustado al total de la superficie de cultivos	Altitud máxima (m)	Pendiente máxima (grados)
Maíz	3 965.0	541 671.8	256 145.3	801 782.0	55	79	2 800	10
Nopal	2 904.0	888.5	78.5	3 871.0	0	0	2 600	15
Avena	5 759.2	63 686.1	31 635.8	101 081.1	7	10	2 800	15
Papa	409.0	5 266.4	80.0	5 755.4	0	1	2 800	12
Frijol	104.2	9 593.6	35 799.7	45 497.4	3	4	2 500	15
Alfalfa	28.5	7 645.3	47 488.5	55 162.3	4	5	2 700	12
Total de la entidad	13 169.9	628 751.5	371 227.7	1 013 149.1	69%			

GRÁFICA 1. Estructura de uso de suelo y vegetación como porcentaje de la superficie de la Cuenca, 1976-2011



cultivos más importantes de la Ciudad de México, Estado de México e Hidalgo (Ficeda, 2015), el cual se ponderó de acuerdo con la superficie que ocupa el cultivo respecto al total de la superficie sembrada ajustada de dichos cultivos en las entidades estudiadas (cuadros 2 y 3).

A los resultados obtenidos se les aplicaron procesos de disolución y unión geométrica del área correspondiente al escenario de expansión urbana que se presentan en el citado estudio de Corona –publicado en este libro– con el propósito de realizar el análisis integrado de las modificaciones proyectadas en uso de suelo para el año 2030.

Por último, se realizó el análisis de la estructura de las coberturas actuales respecto a las áreas de expansión urbana proyectada para el año 2030, mediante la intersección y disolución geométrica del escenario de expansión de la mancha urbana en la imagen Landsat de 2015. Esto permitió identificar la medida en que los sistemas productivos y la vegetación pueden resultar afectados ante un eventual

CUADRO 3. Parámetros de restricción de altitud y pendiente

Parámetro	Valor
Altitud media ponderada (m)	2 780.3
Pendiente media ponderada (grados)	10.9

crecimiento del área urbana, o bien, si estos factores favorecen su expansión o contención.

### Resultados

#### Estructura de uso de suelo 1976–2011

La estructura de la Cuenca de México está conformada en su mayor proporción por suelo de uso agropecuario; la superficie agrícola representa alrededor del 50% de la Cuenca, mientras que la de pastizales inducidos registra poco más del 9%. No obstante, mien-

tras la superficie destinada a la actividad agrícola permaneció prácticamente constante entre 1976 y 2011, los pastizales inducidos se redujeron en ese lapso en 31 126 hectáreas, que representan alrededor de 2.6% del tamaño de la Cuenca.

Durante el periodo, la mayor parte de la expansión de los sistemas productivos ocurrió a costa de la cobertura vegetal, que equivale al 7% de la Cuenca. Asimismo, esta superficie se ha visto gravemente modificada, en particular por el proceso de urbanización y, en menor medida, por la recuperación de vegetación, con 87 580 y 65 540 hectáreas, respectivamente (gráfica 1).

La vegetación ha sido el tipo de cobertura con mayor contracción como porcentaje del total de la superficie que ocupa en la Cuenca; durante el periodo

se redujo en casi 85 560 hectáreas debido a la expansión en los sistemas productivos, cifra equivalente al 3.3% de la Cuenca y al 26% de la cobertura vegetal en 2011. La expansión de la mancha urbana es el segundo factor que amenaza a la vegetación: de 1976 a 2011 mermó su superficie en cerca de 25 000 hectáreas, como se muestra en el cuadro 4.

La expansión urbana ha afectado de manera significativa a los sistemas productivos y a la vegetación. En el primer caso, la pérdida de superficie de los sistemas productivos asciende a poco más de 87 500 hectáreas, es decir, el 12% de la cobertura agropecuaria en el 2011. El cambio tuvo una mayor proporción de 1976 a 1993, aunque hubo un incremento importante entre 2007 y 2011 (cuadro 4 y figura 1).

CUADRO 4. Procesos de cambio en el uso de suelo, 1976-2011

De	a	Superficie (ha)					% de la cobertura inicial 2011
		1976-1993	1993-2002	2002-2007	2007-2011	1976-2011	
Sistemas productivos	urbano	60 648.3	10 348.2	4 390.2	12 193.6	87 580.3	12.3
Sistemas productivos	vegetación	35 845.6	27 386.1	1 723.7	586.5	65 541.9	9.2
Vegetación	urbano	21 942.9	925.3	781.1	1 254.6	24 903.9	7.5
Vegetación	sistemas productivos	46 134.8	38 353.7	176.8	1 893.7	86 559.0	26.2

Es posible notar la importante variación en las cifras observadas de los procesos de cambio durante los últimos dos periodos. Para calibrar y verificar estas cifras, se elaboraron los procesos para los conjuntos 2000-2007 y 2007-2010 a partir de los cambios en las clases de las imágenes Landsat. Los resultados mostraron una importante variación para con las Series de Uso de Suelo y Vegetación, tal como se muestra en el cuadro 5. Dicha variación puede estar relacionada con la escala de las Series (1:250 000) así como con la generalización cartográfica de éstas (50 hectáreas para vegetación y 25 hectáreas para los usos de suelo).

Los procesos anteriores muestran que, a lo largo del periodo de análisis, el mayor incremento de superficie urbana a costa de sistemas productivos agropecuarios ocurrió entre 2000 y 2007, con una importante reducción de la tasa de pérdida en entre 2007 y 2015.

Por otro lado, la contracción de la vegetación por la expansión de los sistemas productivos fue menor que su recuperación a costa de la superficie agropecuaria entre 2000 y 2007. No obstante, si bien es cierto que la cobertura vegetal recuperó una mayor su-

perficie, los procesos ecosistémicos que se perdieron tenían mayor peso que los que se lograron recuperar en el corto y mediano plazo. Asimismo, la tasa de contracción de la vegetación en ambos periodos resultó positiva, aunque la tasa de recuperación muestra un comportamiento descendente (figura 2).

CUADRO 5. Procesos de cambio en el uso de suelo 2000-2007 y 2007-2015, Landsat

De	a	Superficie	
		2000-2007 (ha)	2007-2015 (ha)
Sistemas productivos	urbano	78 498.0	19 100.4
Sistemas productivos	vegetación	52 033.0	39 363.0
Vegetación	urbano	4 754.0	4 270.9
Vegetación	sistemas productivos	25 012.9	39 942.1

FIGURA 1. Estructura de uso de suelo y vegetación, 1976-2011

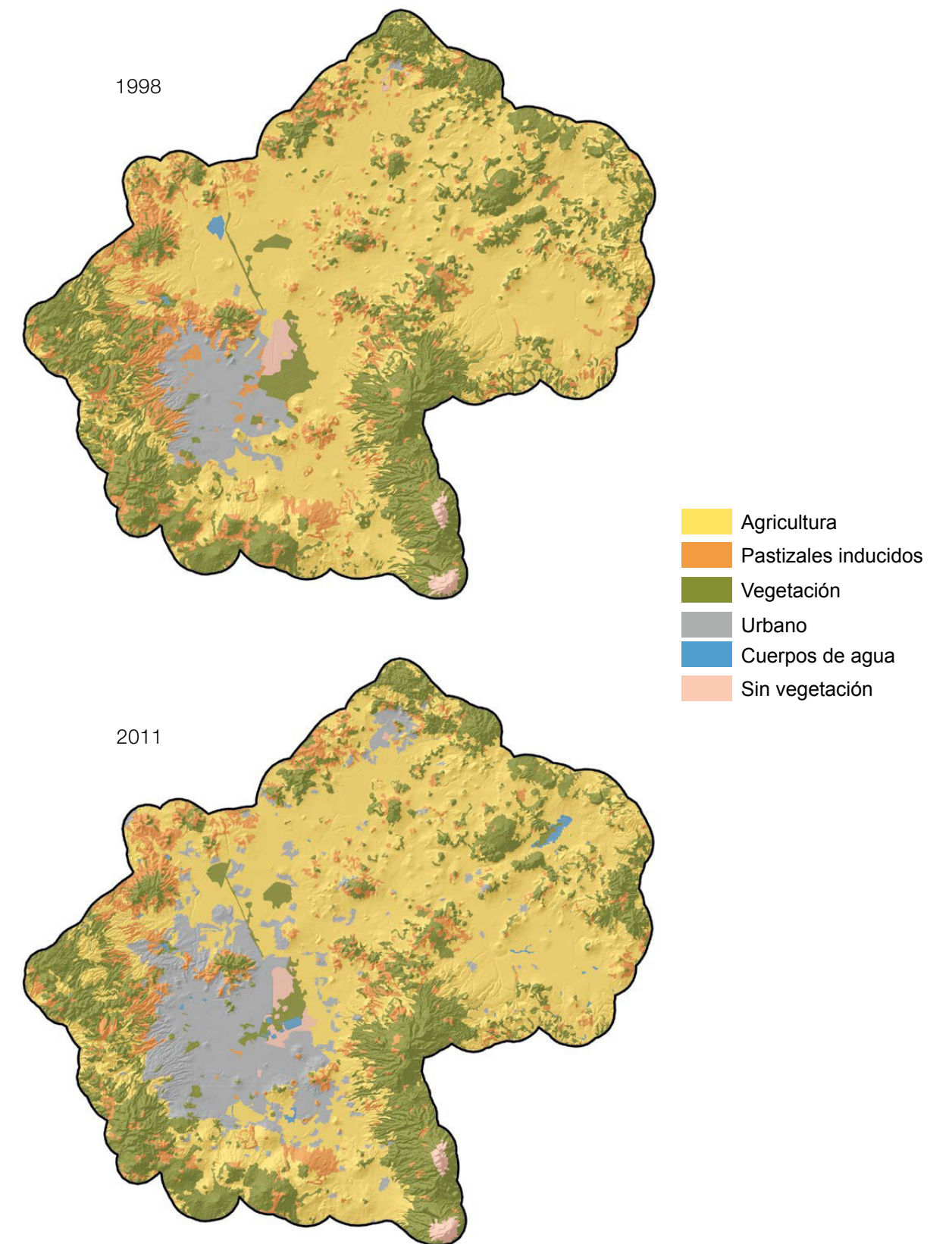
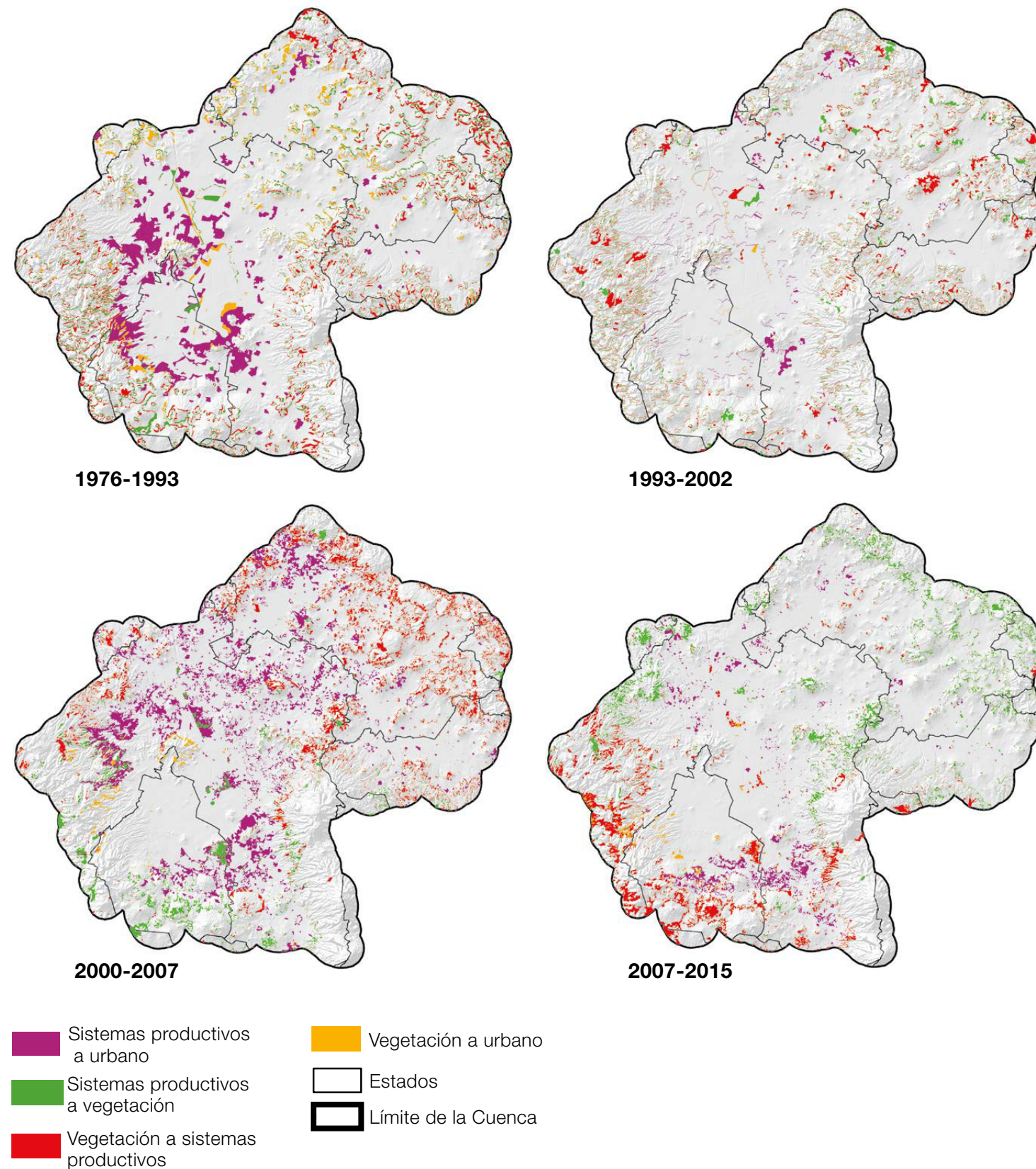


FIGURA 2. Procesos de cambio en el uso de suelo y vegetación, 1976-2015



CUADRO 6. Estructura de uso de suelo y vegetación 2000, 2007 y 2015

Cobertura	2000		2007		2015	
	Superficie (ha)	% de la Cuenca	Superficie (ha)	% de la Cuenca	Superficie (ha)	% de la Cuenca
Vegetación	362 700.4	29.9	333 990.0	27.5	330 341.2	27.2
Cuerpos de agua	6 841.8	0.6	8 530.6	0.7	4 107.7	0.3
Otras coberturas	184 420.9	15.2	265 196.2	21.8	281 413.6	23.2
Sistemas productivos	665 164.8	54.8	613 657.2	50.6	598 038.5	49.3

**Escenario tendencial de los sistemas productivos**

El análisis de coberturas de las imágenes Landsat permitió obtener una aproximación muy cercana a las registradas en las Series de Uso de Suelo y Vegetación, de tal manera que se identificó la estructura de la Cuenca de manera simplificada al año 2015 con las cuatro clases señaladas.

A diferencia de las Series, en la clasificación de las imágenes no se definió la cobertura de uso urbano, pues ésta se encuentra combinada con otras clases, como son las áreas desprovistas de vegetación. Pese a ello, los asentamientos humanos son la clase con mayor crecimiento en la Cuenca, por lo que es válido atribuir a la expansión urbana el dinamismo en la clase definida como *otras coberturas*, que pasó de 15% a 23% de la superficie total de la Cuenca en los últimos 15 años (cuadro 6).

En el caso del proceso de cambio entre sistemas productivos y vegetación, existe una clara tendencia a la expansión de la superficie agropecuaria a costa del capital natural; esta transición representa más del doble de la recuperación de la cobertura vegetal. Asimismo, mientras la recuperación de la cobertura vegetal presenta una tasa de cambio decreciente, la variación en la expansión de los sistemas productivos a costa de coberturas vegetales de 2000 a 2015 fue de 60%.

Estas tendencias se introdujeron al modelo para proyectar el escenario de expansión de los sistemas productivos al 2030. Los resultados ajustados con el área de expansión urbana del escenario elaborado por Corona<sup>3</sup> muestran un cambio sustancial en la estructura de las coberturas de la Cuenca. Las principales modificaciones se observan en la contracción de la vegetación y de los sistemas productivos, así como en la considerable expansión de la superficie urbana (cuadro 7).

La superficie urbana pasará de alrededor del 21% de la superficie de la Cuenca en 2015 al 32% en 2030; se prevé que los sistemas productivos sean la clase más afectada por dicha expansión. En el caso de la vegetación, si bien es cierto que no se tomó en consideración el proceso de cambio entre sistemas productivos a cobertura vegetal, la contracción por expansión de la superficie agropecuaria es alarmante, pues se avizora un disminución en 66 000 hectáreas, lo que significa pasar de 27% en 2015, a 21% en 2030 (figura 3).

La mayor afectación de vegetación por expansión de los sistemas productivos sucederá en la parte noreste y noroeste de la Cuenca, en particular en los

<sup>3</sup> Consultar el capítulo "Modelo espacial y pronóstico de la expansión de la mancha urbana, 1995-2030" de Nirani Corona en este libro.

# La superficie

---

urbana **pasará** de alrededor del **21%** de la superficie de la Cuenca en **2015** al **32%** en **2030**; se prevé que los **sistemas productivos** sean la **clase más afectada** por dicha expansión.

CUADRO 7. Estructura de uso de suelo y vegetación en el escenario 2030

Cobertura	2015		Escenario 2030	
	Superficie (ha)	% de la Cuenca	Superficie (ha)	% de la Cuenca
Vegetación	330 341.2	27.2	264 271.2	21.8
Cuerpos de agua	4 107.7	0.3	3 296.8	0.3
Otros	281 413.6	23.2	424 722.2	35.0
Sistemas productivos	598 038.5	49.3	522 009.4	43.0

municipios de Singuilucan, Cuautepec, Tepeapulco y Omitlán en Hidalgo; Chingnahuapan en Puebla, y Jilotzingo, Isidro Fabela, Nicolás Romero y Tepetzotlán en el Estado de México. Asimismo, este proceso afectará de manera importante la cobertura vegetal en la parte sureste de la Cuenca, sobre todo en los municipios de Chalco, Temamatla y Tenango del Aire, así como en las zonas aledañas a los volcanes Iztacuíhuatl y Popocatepetl, como son Tlalmanalco y Amecameca, todos en el Estado de México.

A diferencia de los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala, la proyección prevé que la afectación del capital natural en la Ciudad de México sea mínima: se espera que esta superficie se contraiga únicamente en 555 hectáreas, la mayor parte en suelo de conservación, en las delegaciones Tlalpan y Milpa Alta.

Por último, resulta importante hacer énfasis en qué tipo de coberturas que en 2015 conforman la Cuenca se registrarán la expansión esperada de la mancha urbana para 2030. Los resultados muestran que de las casi 138 200 hectáreas de expansión prevista, al menos 130 000 corresponden a superficie de sistemas productivos, que representan poco menos del 22% de esta cobertura. Se pronostica que la mayor superficie de contracción en los sistemas productivos se registrará en la parte norte y oeste de la Cuenca, de manera señalada en los municipios de Zumpango, Cuautitlán, Teoloyucan, Coyotepec, Huehuetoca,

Tecámac, Acolman, Chiautla, Teotihuacan, Texcoco, Axapusco, Chalco, Cocotitlán y Amecameca, en el Estado de México, y Tizayuca, Mineral de la Reforma y Pachuca de Soto en Hidalgo (figura 4).

### Conclusiones

A partir del debate actual sobre el papel del área rural-urbana dentro de la Cuenca, se vuelve invaluable el análisis espacial de los procesos de cambio históricos y potenciales asociados a las áreas urbanas, los sistemas productivos y el capital natural. Lo anterior, dado que a partir de este enfoque es posible estudiar la dinámica espacio-temporal de fenómenos clave, como es el caso de la expansión de los sistemas productivos, la urbanización y permanencia del capital natural, entre otros.

Esto permite generar un puente integrador en el marco de estudios territoriales y, de esta manera, aportar información para una adecuada toma de decisiones que, en complemento con una identificación y diferenciación territorial de los conductores de cambio asociados a estos fenómenos, oriente mecanismos de intervención para la planeación espacial.

En la Cuenca de la Valle de México existe una clara tendencia a la urbanización y a la pérdida de la cobertura vegetal derivada de la expansión de los sistemas

FIGURA 3. Escenario tendencial de uso de suelo y vegetación, 2030

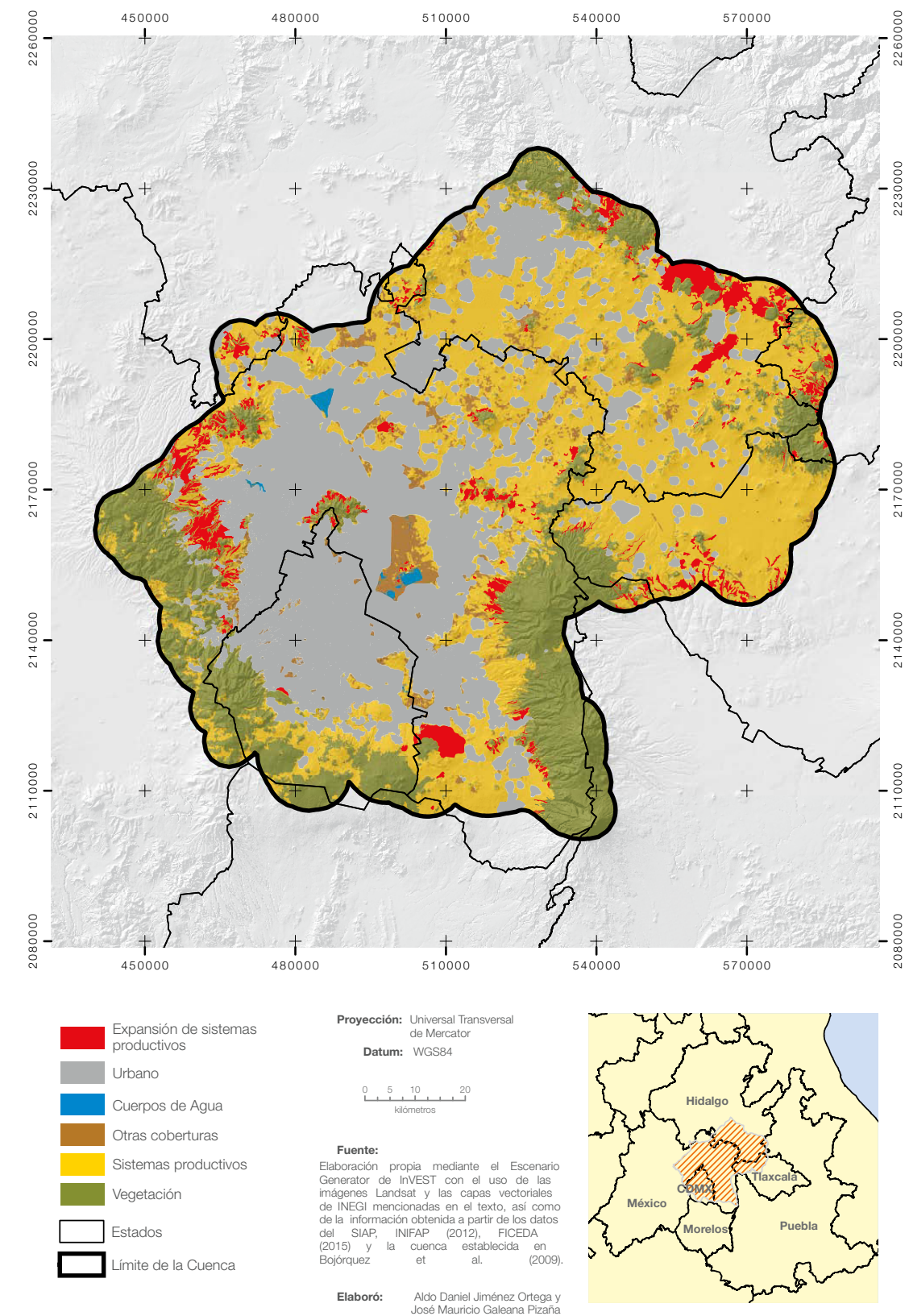
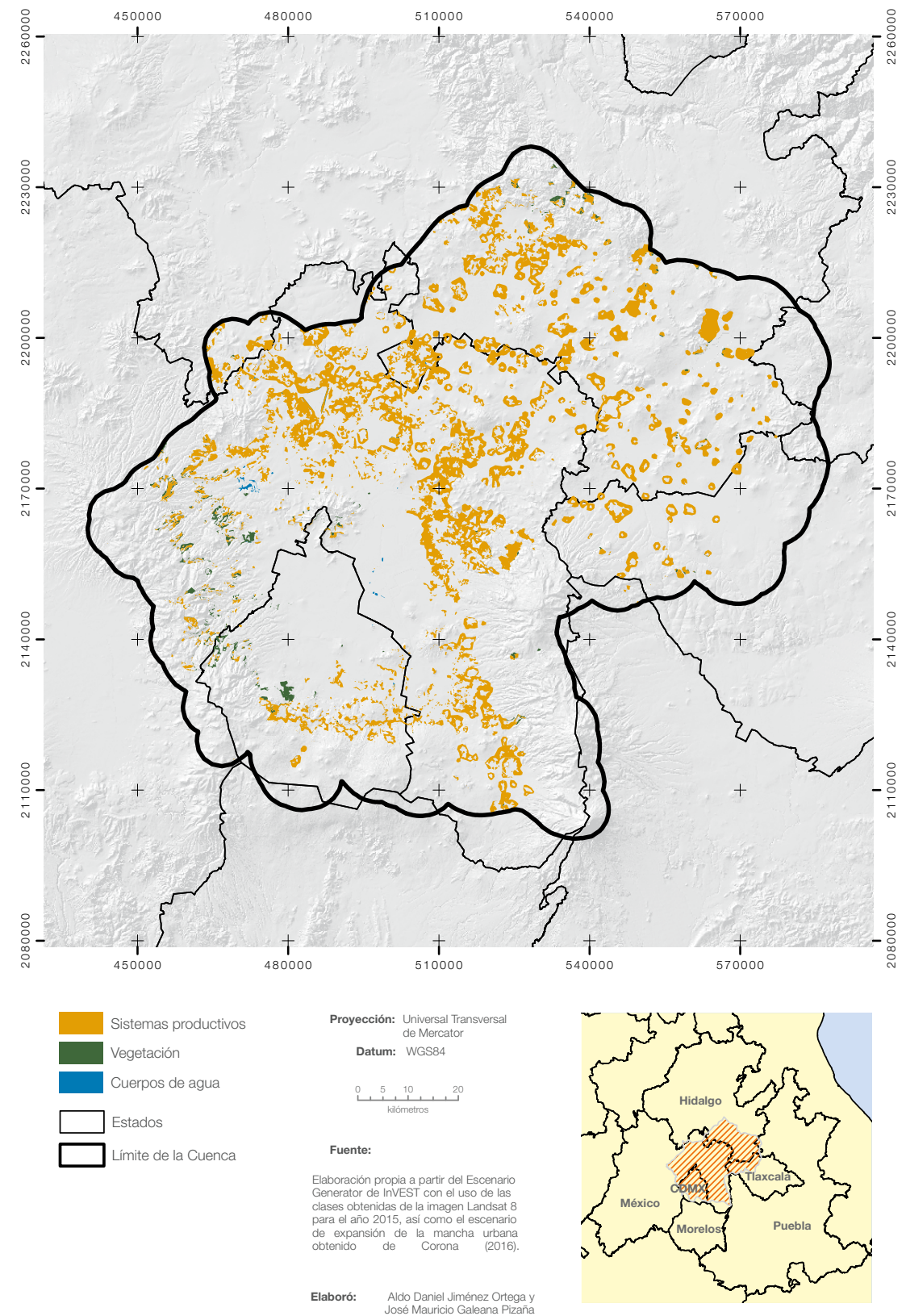




FIGURA 4. Estructura de uso de suelo y vegetación en el área de expansión urbana, 2030



productivos agropecuarios. Si bien es cierto que hay una importante superficie vegetación recuperada de los sistemas productivos, su tendencia negativa en los últimos 15 años, aunada al tiempo que requieren los procesos naturales para restaurar los ecosistemas, impide equiparar el impacto de la pérdida de la cobertura vegetal.

Dicha tendencia asociada a la expansión de la superficie urbana tendrá repercusiones sobre los microclimas, como una mayor frecuencia de islas de calor. Los materiales de construcción como el asfalto y concreto, tienen propiedades térmicas (conductividad térmica) y de radiación que inciden en los procesos de albedo y emisividad, y provocan un desequilibrio del balance radiativo de una región (Solecki *et al.*, 2005). Se genera, así, un estado de estrés en aquellas actividades económicas asociadas con el estado del tiempo. Los insumos de la urbanización son materiales que tienden a absorber la radiación solar y a liberar energía de longitudes de onda infrarroja, que interactúa con los gases de efecto invernadero y propicia el calentamiento de la atmósfera (Santos, 2013).

Con base en los resultados del estudio, se puede afirmar que el medio rural periurbano de la Cuenca se encuentra supeditado a la dinámica de desarrollo urbano, de tal manera, que la superficie agropecuaria no representa un mecanismo de contención de la expansión de la mancha urbana, particularmente en los estados de México e Hidalgo. En el mismo sentido, la pérdida de vegeta-

ción periurbana ha reducido la resiliencia de la Cuenca a causa de la alteración del ciclo del carbono, la erosión del suelo y la disminución en la capacidad infiltración y recarga del acuífero, lo que, además, ha generado una fuerte presión hídrica (Bunge, 2010).

En el caso de la Ciudad de México, pese a que el escenario tendencial no muestra patrones de una importante expansión de la superficie agropecuaria en el suelo de conservación, resulta preocupante la pérdida de vegetación observada entre los años 2007 y 2015, en particular por la tendencia observada en la urbanización de la superficie de los sistemas productivos.

El proceso de urbanización ha dado como resultado una transformación notable de los sistemas naturales en la Cuenca, que implica la pérdida en su funcionalidad y la reducción de la provisión de servicios ecosistémicos (Cuevas *et al.*, 2010). Esto, a su vez, ha generado una disminución en la calidad de vida humana, tanto en el medio urbano como en el rural periurbano.

Actualmente, la Cuenca de México tiene un grado de alteración extremo en su dinámica funcional y se prevé que de continuar la tendencia y aproximarse a los resultados de los escenarios proyectados, la carga de la actividad antrópica en el ecosistema urbano será insostenible. El resultado será el incremento de islas de calor, el eventual cambio en el microclima de la Cuenca, una reducción en la calidad del aire y un aumento en el riesgo de la producción agropecuaria, entre otros efectos.

## Bibliografía

- Aguilar, A. G. (2008). Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. *Cities*, vol. 25, núm. 3, pp. 133-145.
- Balvanera, P. y R. Prabhu (2004). *Ecosystem services: The basis for global survival and development*. Commissioned Issue Paper of the U.N. Millennium Pro-

ject Task Force on Environmental Sustainability, Organización de las Naciones Unidas.

- Balvanera, P., H. Cotler *et al.* (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en capital natural de México, en: *Estado de conservación y tendencias de cambio*, vol. II. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- Bunge, V. (2010). La presión hídrica en las cuencas de México. En: H. Cotler (coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, pp. 88-91. En: <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/presion.pdf>>.
- Carter, T.R., E.L. La Rovere, R. N. Jones, R. Leemans, L. O. Mearns, N. Nakic'enovic', B. Pittock, et al. (2001). Developing and applying scenarios. En: J. McCarthy, O. F. Canziani, N. Leary, D. J. Dokken y K. S. White (eds.), *Climate change, 2001. Impacts, adaptation and vulnerability*. Inglaterra, Cambridge University Press, pp. 145-190.
- Chaudhuri, G. y C. K. Clarke, (2013). The SLEUTH Land Use Change Model: A Review. *The International Journal of Environmental Resources Research*. vol. 1, núm. 1, pp. 88-105.
- Claramunt, C.; C. Parent, y M.Thériault, (1997), Design patterns for spatio-temporal processes. En: Spaccapietra y F. Maryanski (eds.). *Searching for semantics: data mining, reverse engineering*. E.U.A., Chapman & Hall, pp. 415-428.
- Cotler, H. (2010). Perspectivas sobre las cuencas hidrográficas de México: introducción. En: H. Cotler (coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, pp. 4-7.
- Cuevas, M. L.; A. Garrido, J. L. Pérez y D. Iura (2010). Estado actual de las cuencas de México. En: H. Cotler (coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, pp. 50-58.
- Davis, G. (2002). Scenarios as a tool for the 21<sup>st</sup> century. En: Group External Affairs (eds.), *Probing the future conference*, Inglaterra, Strathclyde University.
- European Environmental Agency (2011). *Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems*. Dinamarca, European Environment Agency, Reporte técnico 18/2011.
- Ferraz, C. (2001). *Explaining agriculture expansion and deforestation: evidence from the Brazilian Amazon 1980/98*. Brasil, IPEA-World Bank, Texto para discusión 828.
- Fideicomiso para la Construcción y Operación de la Central de Abasto de la Ciudad de México (Ficeda) (2015). *El polígono agroalimentario del Valle de México*. Boletín núm.026 18/02/2015.
- Garrido, A., J. L. Pérez y G. Enríquez (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. En: H. Cotler (coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. México, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, pp. 14-17.
- Gómez, E., A. Gren, D. N. Barton, J. Langemeyer, T. McPhearson, P. O'Farrell, et al. (eds.) *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities*. E.U.A., Springer.
- Han, H., C. Yang y J. Song (2015). Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China. *Sustainability*, vol. 7, núm. 4, pp. 4260-4279.
- INEGI (2005). *Población rural y rural ampliada en México*. México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Publicación electrónica: <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825498122>>.
- \_\_\_\_\_ (2014) *Glosario de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2014*. México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Publicación electrónica: <<http://www.beta.inegi.org.mx/app/glosario/default.html?p=eic2015>>.
- Kidron, G.J., A. Karnieli, I. Benenson y Y. Grinblat (2015). Simulating land-use degradation in West Africa with 254 the ALADYN model. *Journal of Arid Environments*, vol. 112, part A, pp. 52-63.
- Kroeger, T. y F. Casey (2007). An assessment of market-based approaches to providing ecosystem services on agricultural lands. *Ecological Economics*, vol. 64, núm. 2, pp. 321-332.
- Lambin, E.F., B. L. Turner, J. Helmut, S.B Geist, S. B. Agbola, A. Arild et al. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, vol. 11, núm. 4, pp. 261-269.
- Lee, Y.C., J. Ahern y C.T. Yeh (2015). Ecosystem services in pen-urban landscapes: the effects of agricultural landscape change on ecosystem services in Taiwan's western coastal plain. *Landscape and Urban Planning*, núm. 139.
- Martínez, M. L., O. Pérez-Maqueo, G. Vázquez, G. Castillo-Campos, J. García-Franco, K. Mehlreter, et al. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical mountain cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, núm. 258, pp. 1856-1863.
- Merlín-Urbe, Y., A. Contreras, M. Astier, O. P. Jensen, R. Zaragoza y L. Zambrano (2012). Urban expansion into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 1, núm. 14.
- Pensado, M. (2003). Las políticas públicas y las áreas rurales en el Distrito Federal. *Sociológica*, año 18, núm. 51, pp. 73-98.
- Peuquet, D. J. (1994). It's about time: A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 84, núm. 3, pp. 441-461.
- Pickett, S. T. A., M. L. Cadenasso, J. M. Grove, C. H. Nikon, E. V. Pouyat, W. C. Zipperer y B. Constanza (2001). Urban ecological systems. Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 32, pp. 127-157.
- Platt, H. R. (2004). *Land use and society: geography, law and public policy*. E.U.A., Island Press.
- Rounsevell, M. D. A., F. Ewert, I. Reginster, R. Leemans y T. R. Carter (2005). Future scenarios of European agricultural land use II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture Ecosystem and Environment*, núm. 107, pp. 117-135.
- Santos, Fabiane (2013). Trees – the natural air conditioners. *Scientific Scribbles*. Australia, The University of Melbourne. Publicación electrónica: <<https://blogs.unimelb.edu.au/sciencecommunication/2013/08/23/trees-the-natural-air-conditioners/>>.
- Solecki, W. D., C. Rosenzweig, L. Parshall, G. Pope, M. Clark, J. Cox y M. Wiencke (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, vol. 6, núm. 1, pp. 39-49.
- Sotelo, E., A. González, G. Cruz, A. Martínez y R. Flores (2012). *Determinación del potencial productivo en cultivos prioritarios en el Estado de México*, Libro técnico 51. México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Gobierno del Estado de México, Fundación Produce y Sagarpa.
- Sutton, P. C. y S. J. Anderson (2016). Holistic valuation of urban ecosystem services in New York City's Central Park. *Ecosystem Services*, vol. 19, pp. 87-91.
- Veldkamp, A. y P. H. Verburg (2004). Modelling land use change and environmental impact. *Journal of Environment Management*, vol. 72, núm. 1-2, pp. 1-3.
- Verburg, P. H., P.P. Schot, M. J. Dijst y A. Veldkamp (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. *Geojournal*, vol. 61, núm. 4, pp. 309-324.
- Weng, Y. C. (2007). Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, vol. 81, núm. 4, pp. 341-353.
- Xu, Q., K. Yang, G. Wang y Y. Yang (2015). Agent-based modeling and simulations of land-use and land-cover change according to ant colony optimization: A case study of the Erhai Lake Basin, China. *Natural Hazards*, vol. 75, núm. 1, pp. 95-118.
- Yi, Q. y N.S. Lam (2015). Modeling land use and land cover changes in a vulnerable coastal region using artificial neural networks and cellular automata. *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 3, núm. 57.