



Análisis de los cambios y la persistencia en los usos del suelo de 1958 a 2010 en el municipio de Cuautlancingo, Puebla, México*

Analysis of changes and persistence in the land uses from 1958 to 2010 in the municipality of Cuautlancingo, Puebla, Mexico

Alejandro Tochihuitl Tepox**, Luis Alberto Villarreal Manzo***, Benito Ramírez Valverde****, Edmundo Antonio Gutiérrez Domínguez*****, Margarita Tlapa Almonte*****

Recibido: 2016-02-02 // Aprobado: 2016-04-28 // Disponible en línea: 2016-06-30

Cómo citar este artículo: Tochihuitl Tepox, A., Villarreal Manzo L. A., Ramírez Valverde, B., Gutiérrez Domínguez, E. A. y Tlapa Almonte, M. (2016). Análisis de los cambios y la persistencia en los usos del suelo de 1958 a 2010 en el municipio de Cuautlancingo, Puebla, México. *Ambiente y Desarrollo*, 20(39), 35-54. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-39.acpu>
doi:10.11144/Javeriana.ayd20-39.acpu

Resumen

Por su ubicación geográfica y por su cercanía con la ciudad de Puebla, el municipio de Cuautlancingo inicia un proceso de conurbación a partir de la década de los setenta; transformación que se acelera con el establecimiento de la zona industrial y los cambios de usos del suelo. La presente investigación tiene como objetivo analizar las dinámicas de los cambios de usos del suelo del municipio de Cuautlancingo, Puebla, en el período de 1958 a 2010. Para cumplir con el objetivo propuesto se definieron cuatro tipologías de uso de suelo: agrícola ejidal, agrícola de propiedad privada, urbano habitacional e industrial. Por medio del procesamiento de fotografías aéreas con Sistemas de Información Geográfica, se determinaron

* Este artículo se deriva del proyecto de investigación *Análisis de los cambios de uso de suelo generados por el crecimiento urbano y su efecto en la disponibilidad de agua potable en el municipio de Cuautlancingo, Puebla*. El proyecto fue desarrollado de agosto de 2012 a julio de 2016 y corresponde a los autores: Alejandro Tochihuitl Tepox, Luis Alberto Villarreal Manzo, Benito Ramírez Valverde, Edmundo Agustín Gutiérrez Domínguez y Margarita Tlapa Almonte.

** Estudiante de Maestría en Ciencias. Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional (Proedar). Colegio de Postgraduados, campus Puebla. Correo electrónico: tochihuitl@gmail.com

*** Doctor en Ingeniería Agrícola y en Biosistemas. Profesor del Colegio de Postgraduados, campus Puebla. Correo electrónico: lavilla@colpos.mx

**** Doctor en Estudios Latinoamericanos. Profesor del Colegio de Postgraduados, campus Puebla. Correo electrónico: bramirez@colpos.mx

***** Doctor en Física de Materiales y Dispositivos Semiconductores. Profesor investigador en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Correo electrónico: edmundo@inaoep.mx

***** Doctora en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Consultora en la Asociación Civil Reserva Ecológica Zapotecas. Correo electrónico: mtlapa@gmail.com

pérdidas y ganancias de los usos de suelo. El municipio pasó de tener 33.74 km² de superficie agrícola, en 1958, a 17.41 km², en el 2010, lo que representó un 52% de reducción del área destinada a las labores del campo. Asimismo, de los 16.26 km² que se le recortaron a la superficie agrícola, 7.60 km² se destinaron al uso urbano habitacional y 5.10 km² al industrial. El crecimiento poblacional acompañó casi al mismo ritmo a la expansión urbana, aumentando seis veces más de 1960 a 2010. En ese sentido, el texto explica por qué, aunque la superficie industrial es menor que la habitacional, es precisamente la industria lo que detona el crecimiento urbano en el municipio, por la llegada de nuevos centros de trabajo y vías de comunicación, y por la creación de nuevas unidades habitacionales.

Palabras clave: análisis espacial; cambios de usos de suelo; crecimiento urbano; matriz de tabulación cruzada

Abstract

Due to its geographical location and proximity to Puebla, the Cuautlancingo municipality started a conurbation process starting in the 1970's, a transformation accelerated by the establishment of the industrial zone and changes in the land use. The purpose of this research is to analyze the dynamics of the changes in the land use in the municipality of Cuautlancingo, Puebla, in the 1958 to 2010 period. To meet the suggested purpose, we defined four land use typologies: common farming land; private farming land; urban residential, and industrial. By means of the processing of aerial photographs with Geographical Information Systems we determined losses and gains in the land use. The municipality went from 33.74 km² of farming area in 1958 to 17.41 km² in 2010, which represents a 52% decrease in the area intended for farming activities. Likewise, from the 16.26 km² taken from the farming area, 7.60 km² were destined to urban residential use and 5.10 km² to industrial use. The population growth went hand in hand, at almost the same rate, with urban expansion, increasing six-fold from 1960 to 2010. In this regard, the text explains why, although the industrial area is less than the residential area, is precisely industry what triggers urban growth in the municipality, due to the arrival of new work centers and communication channels, and the creation of new residential units.

Keywords: spatial analysis; changes in land use; urban growth; cross tabulation matrix

Introducción

Las actividades humanas han transformado el territorio y modificado severamente el entorno natural, alterando el funcionamiento de los ecosistemas. En ese sentido, la tendencia más marcada corresponde al reemplazo del suelo y coberturas naturales por suelos agrícolas y zonas urbanas, lo que tiene un impacto negativo en la biodiversidad que los sistemas naturales proporcionan. Las actividades que ocasionan efectos de ese tipo van desde la tala de los árboles, las prácticas agrícolas desmedidas, la intensificación de la producción agrícola y la creación de zonas industriales, hasta la expansión de centros urbanos (Zepeda *et al.*, 2012; Jarvis y Young, 2005).

Para De Mattos (2001), la expansión urbana “se trata de una tendencia que se materializa en un continuo desborde de los límites urbanos preexistentes, que va incorporando a pueblos y áreas rurales aledaños, dejando a su paso espacios vacíos o semivacíos” (p. 36). A su vez, Romero *et al.* (2003) y Pauleit *et al.* (2005) señalan que la expansión urbana es la perturbación ambiental más drástica, rápida e irreversible que puede darse sobre el medio ambiente, y que ocurre mediante una serie de cambios de los usos y coberturas naturales o seminaturales por usos y coberturas urbanas.

Los cambios de usos del suelo y de cobertura constituyen la expresión espacial más evidente de las actividades humanas (Turner y Meyer, 1991; Romero *et al.*, 2007; Aldana y Bosque, 2008), y son considerados unas de las causas más importantes de la degradación ambiental y la pérdida de funciones y servicios ambientales en los territorios donde se dan dichos procesos (Mendoza *et al.*, 2002; Pauleit *et al.*, 2005; López y Bocco, 2006). Esa es la razón del especial interés que hay en su estudio.

En consonancia, autores como Trucíos-Caciano *et al.* (2011); Merlotto *et al.* (2012) y López (2001), han realizado estudios sobre cambios de uso de suelo generados por crecimiento urbano y actividades antropogénicas. Dichos análisis han evidenciado nuevos patrones espaciales y temporales, claramente carentes de una planificación del uso del territorio y de su influencia en el medio ambiente.

Hay que tener en cuenta que el crecimiento de las ciudades es un proceso territorial y socioeconómico que conduce al cambio irreversible de los usos de suelo. En áreas donde anteriormente predominaba la cobertura vegetal, se desarrollaron actividades agropecuarias, habitacionales o industriales que ocasionaron cambios de los usos de los suelos y transformaciones significativas del entorno (Pickett *et al.*, 2001; Weber y Puissant, 2003; Kinzig *et al.*, 2005; Gong *et al.*, 2011). Estas transformaciones territoriales se aceleraron durante la segunda mitad del siglo XX, dejando, entre otras consecuencias, la fragmentación de hábitats, la pérdida de especies y la contaminación (Zebadúa, 2009; Jiménez-Moreno, 2008).

En ese sentido, estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), predicen un crecimiento urbano continuo. En tanto que la urbanización a nivel mundial en el año 2011 fue de 52%, se prevé que para el 2030 sea del 59%, y para el 2050 se incremente hasta un 67%; es decir: se espera que la población urbana alcance los 6.3 billones de habitantes (Heilig, 2012). Lo anterior se verá reflejado en la expansión de la mayor parte de las ciudades del mundo, en las que el constante crecimiento urbano y la ausencia de planificación ya han generado condiciones deficientes de habitabilidad, que afectan la calidad de vida de los pobladores (Caravaca y Cruz, 1992).

En México, el crecimiento de las grandes ciudades se inicia de manera notoria a partir de la década de los cincuenta con la transformación de grandes extensiones de suelo agrícola. Dicho cambio abarcó tanto territorios ejidales como de propiedad privada que se incorporaron a zonas urbanas, muchas veces en forma de expropiación, propiciando de esta manera la pérdida de tierras que eran originalmente de uso agrícola y que se transformaron en áreas urbano-industriales (Ávila, 2001). En consecuencia, el cambio de uso del suelo es considerado el principal factor que afecta los procesos y ciclos naturales, dada la intervención del hombre sobre el medio ambiente (Lambin *et al.*, 1999).

El municipio de Cuautlancingo, Puebla, es un claro ejemplo de este tipo de transformación. Con una superficie de 34.239 km². Cuautlancingo alberga una población en constante crecimiento: esta pasó de

12.044 habitantes, en 1960, a 112.225, en 2015 (Inegi, 2015). Dicha ampliación demográfica lo ubica como uno de los municipios de mayor crecimiento poblacional a nivel nacional. Tradicionalmente, Cuautlancingo estuvo asociado a las actividades agrícolas; sin embargo, por su ubicación y cercanía con la ciudad de Puebla, sufrió una rápida transformación urbana asociada en su origen con la expansión de su área metropolitana.

El sector industrial tiene un papel crucial en este proceso de urbanización y crecimiento urbano. En dicho proceso, el sector automotriz cuenta con un lugar especialmente representativo. Esto motiva que en la actualidad se dé un acelerado desarrollo industrial y un incremento significativo en las áreas comerciales y habitacionales. Dicho fenómeno también justifica la actual configuración del espacio municipal, caracterizada por un profundo proceso de transformación territorial que conduce a los cambios de usos del suelo.

En concordancia, los procesos de expansión de las zonas urbanas que se han puesto en marcha recientemente son de gran interés para el estudio de la redistribución espacial y temporal de los diferentes usos y coberturas de suelo que ha sufrido el municipio de Cuautlancingo, Puebla. Para detectar estos cambios antropogénicos, se hace necesaria la aplicación de técnicas que permitan medir el grado de conversión de uso territorial. Dichas mediciones se formulan por medio de apreciaciones de las dinámicas espacio-temporales de los usos de suelo. En ese sentido, la teledetección ha demostrado ser un método de alta confiabilidad que proporciona información espacial precisa. Esta técnica permite conocer las nuevas áreas modificadas en el tiempo como resultado de la intervención del hombre y, consecuentemente, brinda apreciaciones lúcidas de la distribución (incremento-decremento) de las nuevas áreas productivas o habitacionales (Molina, 1998).

Es central reconocer que la transformación física de los usos del suelo agrícola es resultado de un proceso de conurbación marcado por la planeación del crecimiento, y no de un ordenamiento de dichos usos. Aquello permite el planteamiento, como objetivo de investigación, del propósito de analizar los cambios de usos de suelo dados por el crecimiento urbano del municipio de Cuautlancingo, Puebla, entre 1958 y 2010; un procedimiento desarrollado en aras de la comprensión de las dinámicas espaciales y temporales del municipio. Para la realización de dicho análisis geoespacial se definieron en principio tipologías de usos de suelo cuyas características se asemejaban al tipo de suelo del área de estudio. Lo anterior permitió cuantificar las pérdidas y ganancias del suelo agrícola, urbano-habitacional e industrial.

Asimismo, la implementación de los SIGs soporta el inicio del análisis. El estudio se centra principalmente en los cambios de usos del suelo y considera el crecimiento urbano derivado del proceso de conurbación como el elemento central de los procesos de transformación. En consecuencia, la aproximación resulta eficaz para el manejo y análisis de la información que pueda ser georreferenciada; permite síntesis eficaces del estudio del espacio y, sobre todo, otorga pautas acertadas para la cuantificación del impacto de las transformaciones descritas en un territorio.

Dado el potencial que representan los SIG, se han escrito y publicado múltiples textos relacionados con su uso; estudios que proponen nuevas metodologías e implementaciones de la herramienta, y que posibilitan acercamientos y desarrollos novedosos de los problemas espaciales y territoriales. Tal es el caso de las problemáticas derivadas del proceso de urbanización, así como de su análisis y gestión: aproximaciones que se convierten en referentes fundamentales para la comprensión del vínculo entre la geografía y la ordenación territorial, así como para la toma de decisiones (Santos, 2004; Chuvieco, 2005; Uuemaa *et al.*, 2009; Peña, 2010).

En este contexto, lo urbano tiene una serie de significados que se relacionan con una variedad de condiciones, tales como la densidad de población, la cobertura del suelo, las prácticas culturales y los usos y transformaciones de los recursos naturales. Asimismo, como resultado de la urbanización se origina un ambiente heterogéneo, geoméricamente más complejo y ecológicamente más fragmentado (Andersson, 2006).

Al respecto Lambin *et al.* (2001) y Aldana y Bosque (2008) señalan que los cambios de uso y cobertura, tales como las conversiones que pueden darse en determinadas unidades espaciales, son productos de procesos dinámicos que reflejan las secuencias de decisiones que han sido tomadas por

los usuarios del suelo. Para mostrar ese proceso dinámico de conversión espacial, se utiliza el concepto de *conversión o reemplazo*; noción que describe el cambio de un tipo de cubierta por otro. En tanto, la *modificación o transformación* ocurre cuando no se operan cambios de categoría, pero sí se detecta algún nivel de afectación en uno o varios atributos de una cobertura.

Para mostrar la dinámica de conversión espacial de esta investigación se construyó la *matriz de tabulación cruzada*. Dicho estándar sirvió como punto de partida para el análisis del cambio de uso del suelo. La matriz es utilizada para evaluar el cambio total de categorías de suelo de acuerdo con dos componentes: cambio neto y de intercambio, y ganancias y pérdidas brutas (Pontius *et al.*, 2004). Esta metodología se ha aplicado en diversos estudios sobre cambios de uso y de coberturas de suelo, que han sido generados por factores como la fragmentación de los ecosistemas, huracanes, riesgos ambientales, manejo de cuencas, expansión de las zonas urbanas y crecimiento de la población. Del mismo modo, estos estudios han permitido cuantificar y evaluar los cambios más significativos en el territorio o espacio geográfico (López y Plata, 2009; Santana y Pineda, 2011; Schweitzer y Rubio, 2014; Pineda *et al.*, 2015; Merlotto *et al.*, 2012; Ramírez y Pértille, 2013; Plata *et al.*, 2009; Pérez, 2013).

En general, la transformación radical del uso/cobertura del suelo es un proceso territorial y socioeconómico que, aunado al crecimiento de la población, conduce a la urbanización (Merlotto *et al.*, 2012). Evidentemente, la urbanización seguirá siendo uno de los principales problemas mundiales; por tanto, el desafío para los estudios y planes de acción radica en la búsqueda de métodos para disminuir sus impactos negativos, a la vez que se mantienen sus beneficios económicos, sociales y ambientales, tal como lo señalan Foley *et al.* (2005).

Materiales y métodos

Área de estudio

El municipio de Cuautlancingo se ubica en el centro oeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas están delimitadas por los paralelos 19°04'54'' y 19°09'36'' de latitud norte, y los meridianos 98°13'18'' y 98°17'36'' de longitud occidental. Colinda al norte con el estado de Tlaxcala; al sur con el municipio de San Pedro Cholula y la ciudad de Puebla; al este con Tlaxcala y la ciudad de Puebla, y al oeste con el municipio de Coronango (figura 1). Su superficie territorial es de 34.239 km², lo que lo ubica en el 191º lugar con respecto a los 217 municipios del estado de Puebla.

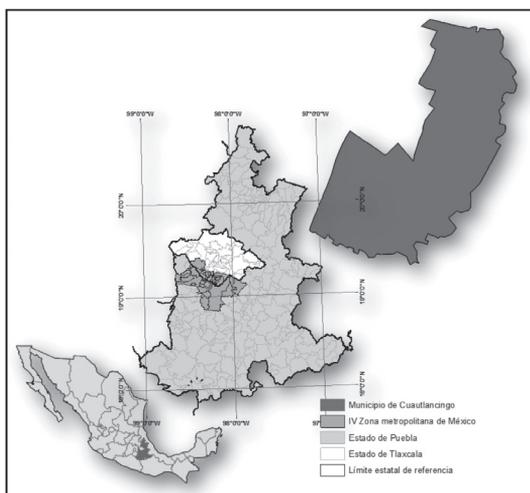


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Fuente: elaboración propia a partir de datos del estudio

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Inegi) (2009), el municipio presenta una superficie plana en la mayor parte del territorio, aunque con ligeros descensos, lo que se conecta con que los terrenos daten del periodo cuaternario. Los suelos de Cuautlancingo se componen principalmente por cuatro grupos: Arenosol (22%), Phaeozem (7%), Regosol (2%) y Vertisol (2%). Hidrológicamente, el municipio se ubica en la cuenca alta del río Atoyac, siendo este su principal escurrimiento. Adicionalmente, presenta un clima subhúmedo en los territorios que se ubican en el valle de Puebla, con lluvias en verano y con una temperatura promedio de 15° C. En cuanto al uso del suelo, vale la pena mencionar que este se utiliza principalmente para actividades productivas como la agrícola, la industrial, la habitacional y, en menor porcentaje, el pastoreo de ganado.

El área de estudio forma parte la zona metropolitana Puebla-Tlaxcala, considerada la cuarta zona más importante del país. En la actualidad dicha área cuenta con una población de 2'728.790 habitantes. Del año 2000 al 2010 contó con una tasa de crecimiento del 1.8%. En ese mismo periodo, la población del municipio tuvo una tasa de crecimiento anual del 5.2% y ascendió a 79,153 habitantes; incremento que lo perfila como uno de los municipios de mayor crecimiento poblacional a nivel nacional (Sedesol *et al.*, 2012).

Metodología

Para el análisis de los cambios de usos del suelo del Municipio de Cuautlancingo se utilizaron fotografías aéreas o aerofotos multitemporales. Las imágenes fueron adecuadas para su comparación secuencial, de 1958 a 2010, y procesadas a través de un SIG; metodología que ha adquirido gran relevancia en la detección de los cambios de usos del suelo, al ofrecer resultados viables y cuantificables (Chuvienco, 2002; Lira, 2010).

Las fotografías aéreas de 1958, 1966, 1979 y 1984 se digitalizaron y rectificaron en el sistema de coordenadas planas con el apoyo de 10 puntos físicos de control. Posteriormente, se conformaron mosaicos de las fotografías aéreas por años. En el caso de las fotografías de 1999 y 2010, las imágenes se obtuvieron digitalizadas y solo se verificó la georreferenciación (cuadro 1). Asimismo, se definieron tipologías de usos del suelo que correspondían con el estudio de Romero (2006), cuyo reconocimiento se realizó en función de sus características. También vale la pena anotar que en la figura 2 se presentan los pasos para el análisis de los cambios de usos del suelo partiendo del procesamiento de las aerofotos.

De acuerdo con Pontius *et al.* (2004), la matriz de tabulación cruzada es el punto de partida para la evaluación y análisis de las categorías de suelo, pues permite considerar ganancias, pérdidas, persistencia e intercambios que llevan a reconocer las transiciones sistemáticas de los cambios de usos del suelo que se dieron de 1958 a 2010. El cuadro 2 representa la matriz de tabulación cruzada, dado que la categoría

Cuadro 1. Características de las fotografías aéreas o aerofotos multitemporales analizadas

Año	Tipo de aerofoto	Impresión hoja/digital	Escala de impresión	Escala de vuelo	Resolución de pixel
1958					
1966	Monocromática	50*60 cm	1:25 000	1:50 000	
1979					
1984	Monocromática	90*60 cm	1:20 000	1:80 000	
1999	Monocromática	7*9 km	1:75 000		1.5 * 1.5 m.
2010	Pancromática	7*5 km	1:75 000		06.*0.6 m.

Fuente: elaboración propia

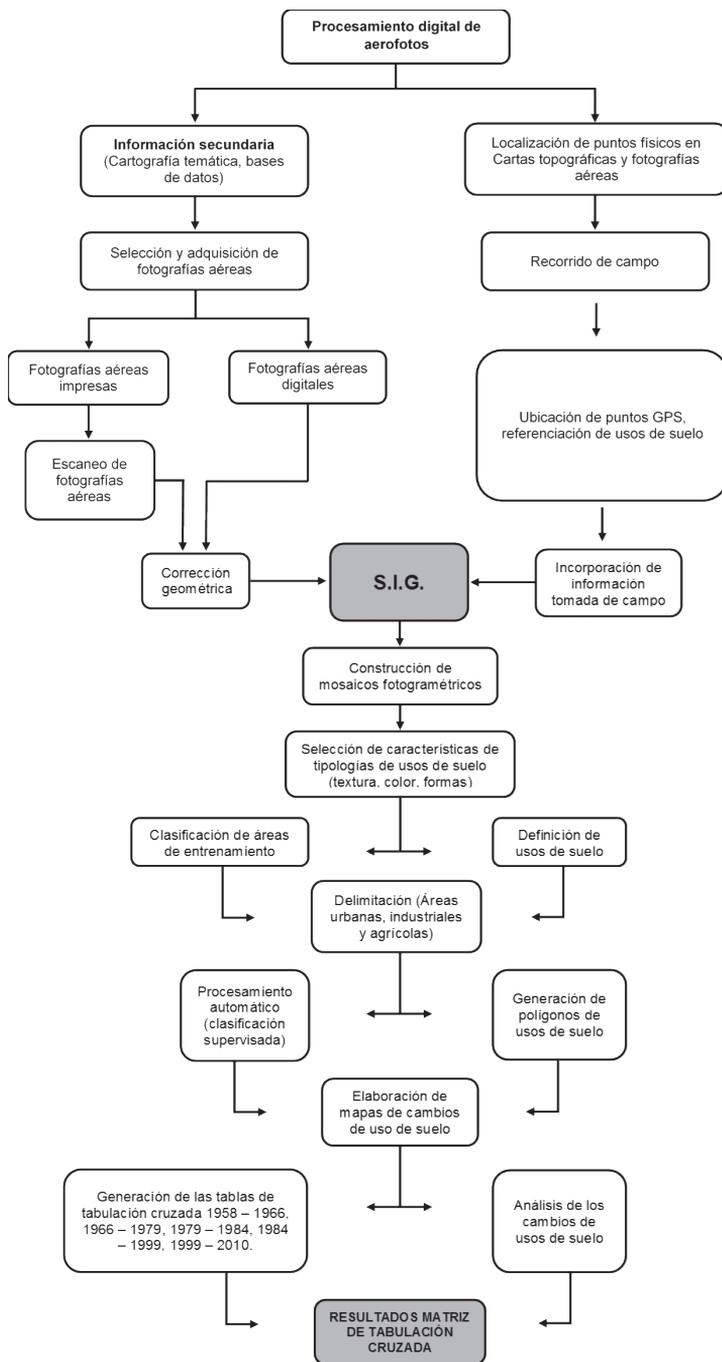


Figura 2. Metodología aplicada para el análisis de las fotografías aéreas y determinación de los cambios de uso de suelo

Fuente: elaboración propia

Cuadro 2. Matriz de tabulación cruzada

A	B	C	D	E	F	G
Tiempo 2						
A Tiempo 1	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total tiempo 1 (T ₁)	Pérdidas (L _{ij})
B Categoría 1	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₊	P ₊₁ - P ₁₁
C Categoría 2	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₂₊	P ₊₂ - P ₂₂
D Categoría 3	P ₃₁	P ₃₂	P ₃₃	P ₃₄	P ₃₊	P ₊₃ - P ₃₃
E Categoría 4	P ₄₁	P ₄₂	P ₄₃	P ₄₄	P ₊	P ₊₄ - P ₄₄
F Total tiempo 2 (T ₂)	P ₊₁	P ₊₂	P ₊₃	P ₊₄	1	
G Ganancias (G _{ij})	P ₊₁ - P ₁₁	P ₊₂ - P ₂₂	P ₊₃ - P ₃₃	P ₊₄ - P ₄₄		

Fuente: Pontius *et al.*, 2004

representa las áreas de usos del suelo. En tanto, P_{ij} es la proporción del paisaje que experimenta una transición de la categoría i a la categoría j ; y el número de las categorías es J . Los valores de la diagonal indican la persistencia P_{jj} ; es decir, corresponden a las zonas estables o categorías que no sufrieron cambio alguno. Los valores fuera de la diagonal indican una transición de la categoría i a una categoría j distinta.

Las filas representan las categorías del tiempo 1 (1958) y las columnas las categorías del tiempo 2 (2010). Por una parte, la fila y columna total tiempo (F) corresponde a la nueva área total de la categoría. Por otra, en la columna *Total*, la notación $P_i +$ indica la suma sobre todos los j de P_{ij} . En tanto, en la fila *Total*, la notación $P + j$ denota la suma de P_{ij} . Para calcular ganancias y pérdidas se utilizaron las siguientes ecuaciones:

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

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$$

En ese contexto, G_{ij} indica el área de uso de suelo que experimentó un aumento entre el tiempo 1 y el tiempo 2, es decir, la *ganancia bruta*, y L_{ij} la *pérdida bruta* que tuvo cada categoría entre 1 y 2; es decir, la diferencia entre *Total* y los valores de la diagonal principal (*persistencia*).

Continuando con la metodología de Pontius *et al.* (2004), el *cambio neto* se obtiene de la diferencia entre las ganancias y pérdidas. Por su parte, el *intercambio* es el cambio de forma o posición de categorías que indica la cantidad de superficie que se ha intercambiado entre categorías. Este se calcula a partir del doble del valor mínimo de las ganancias o de las pérdidas que son, a su vez, las unidades de ganancia de una categoría que hay en la misma cantidad de pérdida para otra. Su formulación matemática es $S_j = 2 \times \text{MIN}(G_{ij}, L_{ij})$.

Resultados

El desarrollo del área metropolitana del estado de Puebla es resultado de la evolución, del crecimiento y de la expansión física de su distrito central. Dicho crecimiento fue consecuencia de la descentralización y de la interacción de la población con las actividades económicas de su periferia. El proceso implica otras funciones como el acceso a servicios, el comercio, el transporte, las comunicaciones y el establecimiento de la industria, que se destaca por su interacción con los principales núcleos de población más cercanos; tal es el caso del municipio de Cuautlancingo (Asuad, 2000).

El sector industrial ha sido importante en el estado de Puebla, debido a su localización geográfica, su topografía y sus recursos naturales. Es por ello que, desde el siglo XIX, la región centro del estado ha sido escenario para el asentamiento de la industria textil. Dicho fenómeno ha tenido lugar a las orillas de los ríos que eran utilizados como generadores de energía. En consecuencia, la industria textil puede ser considerada la primera industria en propiciar las transformaciones de los usos del suelo. Otras industrias que se destacaron fueron las de los alimentos y bebidas, dados el número de establecimientos, la inversión y el valor de la producción (Rosas, 2013).

Como se refiere en el modelo policéntrico de la zona metropolitana de Puebla, otro elemento que contribuyó a la expansión de su capital en la década de los sesenta fue la construcción de infraestructura urbana que tuvo lugar en 1962. Ejemplos de ello fueron la autopista México-Veracruz, al igual que las líneas de ferrocarril, gasoductos y líneas eléctricas de alta tensión. La construcción y modernización de vialidades han sido ejes fundamentales para la urbanización de la ciudad y los municipios vecinos, pues han favorecido el establecimiento de áreas habitacionales a sus costados. Dichas ampliaciones han incluido la instalación de parques industriales y/o zonas comerciales que corresponden con la infraestructura disponible para su desarrollo. Estas vialidades funcionaron simultáneamente como límites del territorio.

Para inicios de la década de 1970, el proceso de industrialización empezó a tener auge dada la llegada de empresas como Volkswagen a Cuautlancingo y la siderúrgica Hojalata y Láminas S.A. (Hylsa) a San Miguel Xoxtla. Con estas empresas se inician los procesos de diversificación estructural que abarcan los sectores industrial y socioeconómico. Los procesos mencionados generaron especulación sobre las tierras aledañas a dichas empresas: territorios que resultaron susceptibles a cambios de usos del suelo para la construcción de unidades habitacionales o industriales (Bernal *et al.*, 2014).

El municipio de Cuautlancingo inicia un proceso de transformación significativa de su territorio a finales de los años cincuenta. Si bien inicialmente estuvo conformado por 34.239 km² dedicados principalmente a la agricultura, esta condición se modificó a partir de 1958 con la construcción de infraestructura vial, que contribuyó al proceso de conurbación y a la consecuente conexión con otros centros de población, o al acercamiento a la ciudad. La evolución de tal proceso se puede observar en la figura 3. En 1966, el establecimiento y desarrollo de la zona industrial continuó fomentando la relocalización de las zonas periféricas, los nuevos centros de trabajo y las zonas residenciales.

La conurbación del municipio de Cuautlancingo con la ciudad de Puebla se aceleró en gran medida por el establecimiento de la zona industrial en su territorio y por la construcción de vías de comunicación que, como se mencionó anteriormente, facilitaron la expansión de la mancha urbana hacia el poniente. Otro factor que contribuyó de manera significativa a la urbanización fue el establecimiento de la Reserva Atlixáyotl-Quetzalcóatl; implantación territorial que involucró a los municipios de San Andrés Cholula, San Pedro Cholula y Cuautlancingo. El propósito de la reserva fue favorecer la vivienda social y el equipamiento urbano social (Rasgado, 2013). De acuerdo los datos del Inegi (2009), este sector es considerado una zona potencial de desarrollo socioeconómico pues, tras la llegada de las zonas habitacionales e industriales, las áreas agrícolas se transformaron, lo que favoreció el cambio de usos del suelo y fomentó la especialización terciaria.

Es importante mencionar que las tierras en donde se establecieron las nuevas zonas habitacionales e industriales eran de origen ejidal. En consecuencia, tenían un bajo costo, así como permisos de construcción para que se establecieran empresas transnacionales y, al mismo tiempo, grandes desarrollos habitacionales; sin embargo, estas últimas actividades fueron implementadas generalmente de manera desordenada, de modo que impulsaron el crecimiento urbano acelerado (Cabrera *et al.*, 2008).

Cambios de usos del suelo del municipio de 1958 a 2010

Se definieron los usos de suelo mediante cuatro tipologías que fueron, a su vez, resultados del proceso de digitalización de las áreas. El procedimiento gráfico puede ser observado en el cuadro 3. Este conjunto de apreciaciones descriptivas permitió analizar los cambios de usos del suelo para cada año de estudio.

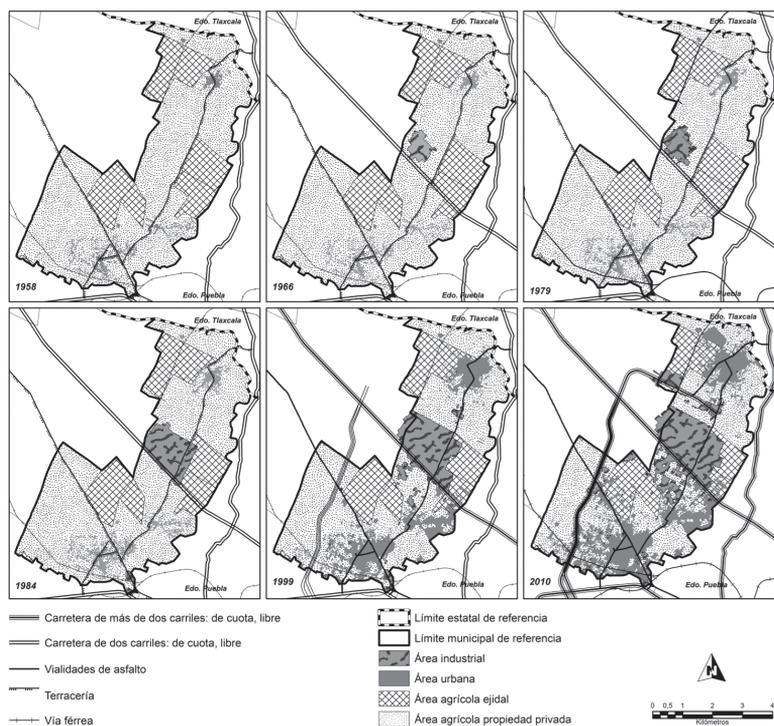


Figura 3. Patrones de expansión y conurbación del municipio de Cuautlancingo, Puebla

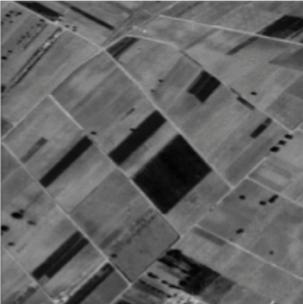
Fuente: elaboración propia a partir de información del Inegi y datos de análisis de aerofotos

Los análisis espacial y comparativo de los cambios revelan que en 1958 el municipio estaba conformado por 33.74 km² de superficie agrícola y contaba con 0.49 km² de superficie urbana, lo que evidencia que en principio estaba dedicado a actividades del campo. Tal condición cambió de manera significativa en las décadas de los ochenta y noventa.

En el cuadro 4 se muestra la superficie ocupada por cada uno de los usos del suelo del municipio de Cuautlancingo, y su evolución durante el periodo de estudio. Como se aprecia en la gráfica, el uso de suelo urbano en 1958 correspondía a 0.498 km², que representaban el 1.4% del total del territorio. En tanto, dichos usos alcanzaron los 7.60 km² en 2010; es decir, correspondieron al 22.18%. De 1999 a 2010, el área urbana aumentó 3 km²: el periodo marcó el cambio más significativo. Por su parte, el área industrial ocupó una superficie de 0.58 km² en el 1966, representando el 1.69% del total del municipio. Por último, para el 2010 el aumento fue significativo, pues el uso industrial alcanzó el 14.9%. La figura 4 muestra la evolución de usos del suelo: se realiza ante todo la expansión de la mancha urbana; es decir, el crecimiento urbano del municipio.

Los resultados de la matriz de tabulación cruzada para el periodo de 1958 a 2010 indican las pérdidas y ganancias de cada categoría. Se observa que el área agrícola de propiedad privada es la que tiene mayores pérdidas mientras que el área urbana es la de mayores ganancias. En tanto, el cuadro 5 muestra el valor de las persistencias para cada categoría, que están indicadas en la diagonal de la matriz. En el cuadro 6, por otra parte, se observa que no hay intercambios entre categorías, así como que la categoría que tiene mayor cambio neto es la agricultura de propiedad privada.

Cuadro 3. Tipología de uso de suelo

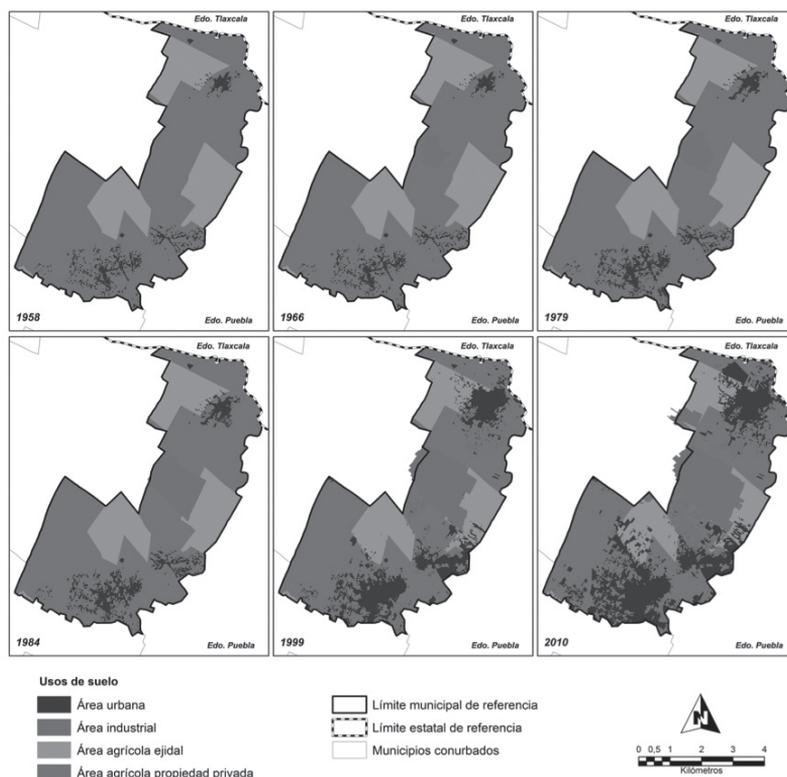
<i>Tipo de uso del suelo</i>	<i>Características de identificación</i>	<i>Visualización - imagen</i>
<p>Área urbana</p> <p>Superficie construida básicamente para vivienda.</p>	<p>Construcciones aglomeradas de color gris oscuro; se definen entre vialidades.</p>	
<p>Área industrial</p> <p>Áreas artificiales, sin vegetación y con construcciones antrópicas (fábricas).</p>	<p>Con formas de polígonos rectangulares; son, además, superficies brillosas de colores blancos y grises claros.</p>	
<p>Área agrícola ejidal</p> <p>Extensiones de tierra dedicadas, básicamente, al cultivo de maíz, frijol, alfalfa, etc.</p>	<p>Por lo general, construcciones con formas de polígonos rectangulares. Sus colores grises pueden variar según la época de la toma realizada: bien sea en temporada de sequía o en temporada de lluvia.</p>	
<p>Área agrícola de propiedad privada</p> <p>Extensiones de tierra dedicadas básicamente al cultivo de maíz, frijol, alfalfa, etc.</p>	<p>Por lo general, construcciones con formas de polígonos rectangulares. Sus colores grises pueden variar según la época de la toma realizada: bien sea en temporada de sequía o en temporada de lluvia.</p>	

Fuente: modificado de Romero *et al.* (2006)

Cuadro 4. Superficies de uso del suelo de 1958 a 2010

Categorías	1958		1966		1979		1984		1999		2010	
	Km ²	%										
Área agrícola ejidal	8.004	23.38	8.00	23.38	7.985	23.32	7.66	22.39	6.77	19.79	5.445	15.90
Área agrícola propiedad privada	25.737	75.17	25.09	73.28	24.13	70.48	23.03	67.28	19.409	56.69	16.09	47.01
Área urbana	0.498	1.46	0.567	1.66	1.305	3.81	1.46	4.28	4.50	13.16	7.597	22.19
Área industrial	0.00	0.00	0.578	1.69	0.818	2.39	2.075	6.06	3.55	10.37	5.10	14.90
Total	34.239	100.00	34.239	100.00	34.239	100.00	34.239	100.00	34.239	100.00	34.239	100.00

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del estudio

**Figura 4.** Transformación del uso de suelo del municipio de Cuautlancingo

Fuente: elaboración propia a partir de información de análisis de aerofotos

Durante el período de análisis se observan dos patrones en los procesos de cambios de usos del suelo del municipio: la primera responde a la pérdida de áreas agrícolas, cuyos principales cultivos son el maíz, el frijol, la alfalfa verde, la avena forrajera y el chile verde (Inegi, 2012), y la segunda, al crecimiento de áreas de uso industrial y habitacional por medio de la sustitución de suelos agrícolas.

En la figura 5 se pueden observar, en términos generales, las dinámicas de transformación de superficies y de los usos de suelo que tuvieron lugar en el municipio de 1958 a 2010. Se nota que el 37% de su superficie total se ha transformado, o ha tenido algún tipo de cambio de usos del suelo. En ese sentido, es importante destacar que ni la superficie industrial ni la urbana presentaron en ningún momento pérdidas o intercambios de usos del suelo con las demás categorías establecidas en este trabajo.

Cuadro 5. Matriz de tabulación cruzada

Categorías	2010				Total 1958	Pérdidas
	Área agrícola ejidal	Área agrícola de propiedad privada	Área urbana	Área industrial		
1958						
Área agrícola ejidal	5.46	0.00	1.03	1.51	8.00	2.54
Área agrícola de propiedad privada	0.00	16.10	6.05	3.59	25.74	9.64
Área urbana	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00
Área industrial	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total 2010	5.46	16.10	7.60	5.10	34.26	
Ganancias	0.00	0.00	7.08	5.10		

Fuente: modificada de Pontius *et al.* 2004

Cuadro 6. Cambios en los usos de suelo del municipio de Cuautlancingo, Puebla, de 1958 a 2010

	Ganancias	Pérdidas	Cambio total	Intercambio	Cambio neto
Área agrícola ejidal	0	2.54	2.54	0	2.54
Propiedad privada agrícola	0	9.64	9.64	0	9.64
Área urbana	7.08	0	7.08	0	7.08
Área industrial	5.10	0	5.10	0	5.1

Fuente: modificada de Pontius *et al.* 2004

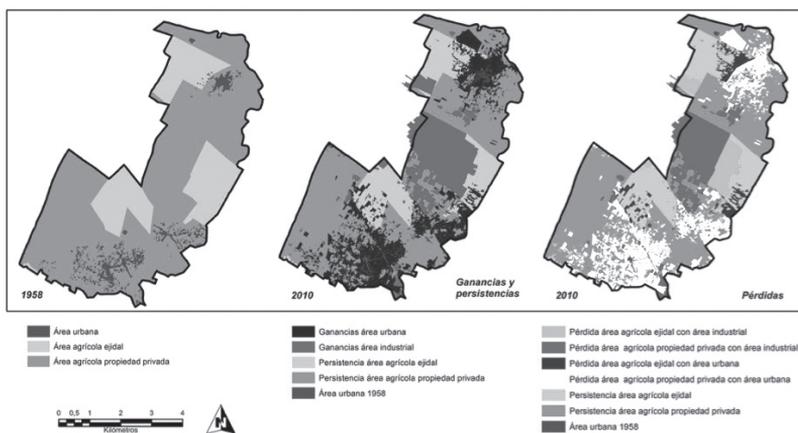


Figura 5. Pérdidas, ganancias y persistencias de las categorías del suelo de 1958 a 2010 del municipio de Cuautlancingo, Puebla

Fuente: elaboración propia

Discusión

Los resultados muestran que los cambios de usos del suelo del municipio de Cuautlancingo están en pleno desarrollo y que se incrementaron con la llegada de empresas transnacionales, la transformación de la economía del municipio y la concentración de la población en la nueva área urbana.

Por otra parte, es fundamental reconocer la ubicación geográfica del municipio de Cuautlancingo dentro de la cuarta zona metropolitana más importante del país (Sedesol *et al.*, 2012), que se derivó de las políticas de globalización. Asimismo, como lo reafirma Sobrino (2003), es relevante destacar que múltiples avances científicos y tecnológicos han transformado y hecho más eficientes los procesos productivos, los transportes y las comunicaciones en el sector, alterando los patrones de movilidad de la población (figura 6). De la misma manera, componentes demográficos esenciales en términos de población —como los movimientos intrametropolitanos, el mercado de trabajo (perfil económico y empleo) y la ubicación sectorial en el territorio— determinan la conformación espacial.

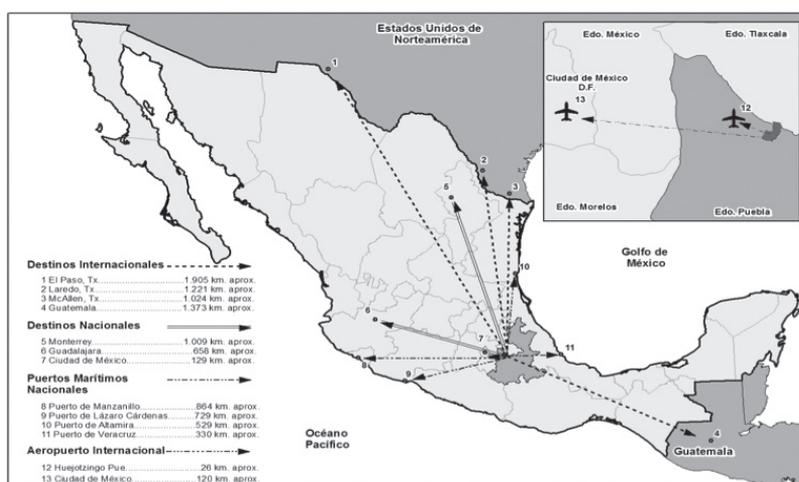


Figura 6. Transportes y comunicación del municipio de Cuautlancingo, Puebla

Fuente: elaboración propia a partir de información del Inegi

La falta de planeación territorial, aunada al acelerado crecimiento urbano, demográfico e industrial de Cuautlancingo, ha generado cambios de los usos del suelo irreversibles, a saber: el municipio ha tenido tasas de crecimiento cada vez mayores en la medida en que la expansión de la mancha urbana ha propiciado cambios de usos del suelo (Henríquez *et al.*, 2006). Como consecuencia, zonas cuyos usos corresponden a tales propósitos han reemplazado progresivamente áreas que habían sido destinadas originalmente al uso agrícola.

Los cambios de usos del suelo de mayor trascendencia se generaron a partir de la década de 1970, impulsados por políticas en materia de regulación urbana que privilegiaron un patrón de crecimiento horizontal. En ese sentido, la última década presentó un crecimiento de más del 50% en área urbana construida. Por otra parte, durante la década de 1990 al 2000 se duplicó el área industrial, lo cual fue propiciado por las políticas aplicadas por el estado de Puebla en el municipio de Cuautlancingo para su desarrollo industrial.

Tal y como lo señala De Mattos (2001), y como ha sido registrado en este trabajo de investigación, la progresiva expansión territorial del área urbana del municipio de Cuautlancingo se encuentra en pleno auge y cuenta con características de crecimiento metropolitano que corresponden, en esta etapa económica capitalista, a la pérdida de los límites urbanos. Como consecuencia de las actividades que se emprendieron

en las crecientes áreas metropolitanas, inicia un proceso de concentración de la población que, junto con la globalización, la internacionalización de mercados y el mejoramiento de medios de comunicación, ha significado profundas transformaciones en los territorios en escalas geográficas disímiles (Ávila, 2008).

Por otra parte, como lo señalan Molina y Romero (2007), los patrones de expansión urbana juegan un papel importante en el desarrollo del municipio de Cuautlancingo. En ese contexto, el crecimiento radial o de adherencia se desarrolla del centro hacia los alrededores, aglutinando nuevas áreas urbanas sobre la periferia de la ciudad; tal es el caso de la ciudad de Puebla, que adicionalmente ha ido absorbiendo los municipios conurbados, aprovechando las economías de aglomeración y extendiendo sus espacios sociales (Kaya y Curran, 2006).

Asimismo, es destacable el *crecimiento tentacular*, que se asocia a los asentamientos urbanos situados a lo largo de las principales vías de transporte y conectividad; aspectos que ejercen, a su vez, papeles fundamentales en la definición del crecimiento urbano a lo largo de estas vías de comunicación y en el aprovechamiento que se da a la accesibilidad y la conectividad que proporcionan. Por último, cabe mencionar el *crecimiento salto de rana*: un patrón de incremento urbano que se da de manera discontinua en la periferia, y que delinea la configuración de parches urbanos a distancias cada vez mayores del centro (Bellet *et al.*, 2015). En el caso del municipio de Cuautlancingo, esta inclinación se ve reflejada en la construcción de naves industriales fuera del área urbana; iniciativa que obedece, por su parte, a intereses por el aprovechamiento y explotación de los recursos del área. Como lo observan Hidalgo *et al.* (2007), este patrón —que corresponde, por lo general, a fenómenos de ocupación ilegal de las tierras más baratas y alejadas de los centros urbanos, o corresponde a quienes pueden pagar por transportes desde largas distancias— ha adquirido una gran importancia últimamente.

Es de vital relevancia contar con un plan estratégico de ordenamiento territorial que propicie la integración óptima de los nuevos usos de suelo y los ya establecidos, con miras a minimizar las afectaciones que ocasionan el inminente crecimiento de la zona urbana, el desarrollo industrial y la demanda de grandes extensiones de tierra; circunstancias que continuarán transformando los usos del suelo del municipio (Rossiter, 2007).

El desarrollo de esta investigación ratifica la ocupación de nuevas urbanizaciones que corresponden al estándar industrial-habitacional. Asimismo, se observa que los patrones de remplazo de los usos agrícolas del suelo se agudizan por la falta de planeación territorial. Estos fenómenos de cambios de usos del suelo repercuten en un recrudecimiento del problema que corresponde con los pronósticos de desarrollo del fenómeno. A saber: de acuerdo con los patrones de remplazo, la urbanización sustituirá las áreas agrícolas restantes y se agudizará la explotación de los recursos naturales de la zona.

En consecuencia, los cambios de usos del suelo apuntan hacia la necesidad de dimensionar la magnitud, la localización y los factores de expansión de las nuevas zonas urbanas a futuro; mediciones que permitirán la fundamentación de una mejor planeación urbana. Asimismo, dichas proyecciones deberán considerar, como lo admiten múltiples estudios, la predominancia de áreas persistentes que corresponden generalmente a zonas urbanas (Yan y Lo, 2002).

Conclusiones

La investigación realizada evidencia una constante transformación de los usos del suelo agrícola. Siendo generadas por la instalación de área industrial y el crecimiento de zonas urbanas, tales modificaciones alcanzan diferentes tasas de crecimiento. Aunadas a ello, la conurbación y la absorción de los municipios circunvecinos a la Ciudad de Puebla se han desarrollado como otras de las constantes notables que influyen en las transformaciones del suelo del municipio.

La construcción y modernización de vialidades como la autopista México-Veracruz, el Anillo Periférico y varias carreteras intermunicipales, contribuyeron de manera importante al establecimiento

de nuevas unidades habitacionales y a la conexión con los centros de población. El eje central del proceso de conurbanización y urbanización del municipio fue el establecimiento de la empresa Volkswagen, que acarrió la llegada de un número importante de proveedoras que incrementaron la demanda de espacios, infraestructura y servicios públicos. En consecuencia, se establecieron múltiples zonas habitacionales que fueron destinadas para sus trabajadores: dicho proceso no solo revitalizó el panorama económico del municipio estudiado, sino también el del estado de Puebla.

El uso de los SIG y la metodología de Pontius *et al.* (2004) permitieron cuantificar y visualizar los cambios de usos del suelo y conocer la tendencia en la dinámica espacial en la zona de estudio, lo que lleva a comprender la interacción entre las categorías de uso. Sin embargo, cabe anotar la idoneidad de un estudio más detallado, que podría requerir la intervención de otras variables socioeconómicas y ambientales; factores que permitirían la observación de un panorama más amplio del proceso de expansión urbana y de los factores que contribuyeron a los cambios estudiados. Tal aproximación resultaría conveniente para la toma de decisiones al corto, mediano y largo plazo.

En conclusión, el estudio indica que el cambio de uso de suelo agrícola a urbano es predominante en el caso estudiado. Hay un fuerte proceso de reemplazo irreversible de áreas de cultivo, bien para uso habitacional o industrial, que denota la tendencia a la urbanización del municipio y la pérdida de zonas destinadas a la agricultura. En suma, se nota en general una mayor tendencia a obtener ganancias en el uso urbano y mayor permanencia en las áreas de ese tipo.

Referencias

- Aldana, A. y Bosque, J. (2008). Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003. *Revista GeoFocus*, (8), 139-168.
- Andersson, E. (2006). Urban landscapes and sustainable cities *Ecology and Society*, 11(1), 34. Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art34/>
- Asuad S. N. (2000). Programa metropolitano de integración norte, oriente y poniente de la ciudad de Puebla. Documento de integración de los estudios de los programas metropolitanos. Recuperado de <http://www.economia.unam.mx/cedrus/descargas/Programa%20Metropolitano%20Cda%20de%20Puebla.pdf>
- Ávila S. H. (2001). Ideas y planteamientos teóricos sobre los territorios periurbanos: Las relaciones campo-ciudad en algunos países de Europa y América. *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, (45), 108-127.
- Ávila S. H. (2008). Cambios y recomposiciones territoriales. Las regiones de México en la globalización. *Geo Crítica. Cuadernos Críticos de Geografía Humana. XII*, 270(17). Recuperado de <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn270/sn27017.htm>
- Bellet, C., Melazzo, E. S., Sposito, M. E. y Llop, J. (Eds.). (2015) *Urbanización, producción y consumo en ciudades medias / intermedias*. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista.
- Bernal-Mendoza, H., Ramírez-Juárez, J., Estrella-Chulím, N., Pérez-Avilés, R. y Morett-Sánchez, J. (2014). Importancia de los territorios rurales en el proceso de reestructuración territorial: el caso de la región metropolitana de la ciudad de Puebla. *Revista Economía, Sociedad y Territorio*, 10(34), 625-660.
- Cabrera B. V., Guerrero, J. M. y Nava R. R. (2008). La política de suelo en Puebla. Fuente de segregación socioespacial y riqueza selectiva. Recuperado de <http://www.rii.sei.ba.gov.br/anais/g2/la%20politica%20de%20suelo%20en%20puebla%20la%20fuente%20de%20segregacion%20socioespacial%20y%20riqueza%20selectiva.pdf>

- Caravaca, I. y Cruz, J. (1992). Crecimiento urbano y marginación social en Latinoamérica: actuaciones espontáneas y políticas de intervención. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (15), 133-158.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Espacial: La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Chuvieco, E., Bosque, J., Pons, X., Conesa, C., Santos, J.M., Gutiérrez, J., Salado, M.J, Martín, M.P, Riva, J., De La Ojeda, J. y Prados, M.J. (2005). ¿Son las tecnologías de la información geográfica (TIG) parte del núcleo de la Geografía? *Boletín de la AGE*, (40), 35-54.
- De Mattos, C. A. (2001). Movimientos del capital y expansión metropolitana en las economías emergentes latinoamericanas. *Revista de estudios regionales*, (60), 15-44.
- Foley, J. A., De Fries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R. y Helkowski, J. H. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Gong, Ch., Chen J. y Yu, S. (2011). Spatiotemporal dynamics of urban forest conversion through model urbanization in Shenzhen, China. *International Journal of Remote Sensing*, 32(24), 9071-9092.
- Heilig, G. K. (2012). *World urbanization prospects: the 2011 revision*. New York: Department of Economic and Social Affairs (DESA) of the United Nations.
- Henríquez, C., Azócar, G. y Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 61-74.
- Hidalgo, R., Borsdorf, A. y Sánchez, R. (2007). Hacia un nuevo tejido rururbano. Los megaproyectos de ciudades valladas en la periferia de Santiago de Chile. *Revista Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 39(151), 115-135.
- Inegi (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cuautlancingo. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21041.pdf>
- Inegi (2012). Sistema municipal de base de datos. Recuperado de <http://sc.inegi.org.mx/cobdem/filtroContenidosServlet>
- Inegi (2015). Tabulados de la encuesta intercensal 2015. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=33725>
- Jarvis, P. J. y Young, C. H. (2005). *The mapping of urban habitat and its evaluation. A discussion paper prepared for the urban forum of the United Kingdom man and the Biosphere Programme*. Woverhampton: School of Applied Sciences of the University of Wolverhampton.
- Jiménez, M. J., González, M. J., Escalona, M., Valdez, J. R. y Aguirre, C. A. (2011). Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(3), 389-406.
- Kaya, S. y Curran, P.J. (2006). Monitoring urban growth on the European side of the Istanbul metropolitan area: A case study. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 8(1), 18-25.
- Kinzig, A. P., Warren, P., Martin, C., Hope, D. y Katti, M. (2005). The effects of human socioeconomic status and cultural characteristics on urban patterns of biodiversity. *Ecology and Society*, 10(1), 23. Recuperado de <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art23/>
- Lambin, X., Baulies, N., Bockstael, G., Fischer, T., Krug, R., Leemans, E.F, Moran, R.R., Rindfuss, S. D., Skole, B.L., Turner, II y Vogel, C. (1999). *Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Implementation Strategy*. Stockholm: IGBP Secretariat.
- Lambin, E. F, Turner, B. L, Helmut, J. y Geist, S. B. (2001). The causes of land-use and land-cover change. Moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.

- Lira, J. (2010). *Tratamiento digital de imágenes multiespectrales*. [Versión de UNAM] Recuperado de ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_TDI_PR_Electronic.pdf
- López, E. y Bocco, G. (2006). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo. Consultado el 15 de enero 2015, en <http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/PDF/CAMBIO/2USODELSUELO.PDF>
- López, E., Bocco, G. y Mendoza, M. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo: El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, (45), 56-76.
- López, V. H. y Plata, R. W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, (68), 85-101.
- Mendoza, M., Bocco G., Granados E. y Bravo, M. (2002). Implicaciones hidrológicas del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: una propuesta de análisis espacial a nivel regional en la cuenca cerrada del lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, (49) 92-117.
- Merlotto, A., Piccolo, M. y Bértola, G. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso / cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Quequén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, (53), 159-176.
- Molina, M. (1998). *Análisis de calidad ambiental de vida para la Ciudad de Maracay, Venezuela usando la Teledetección y los SIG*. (Tesis de doctorado inédita). Universidad de Alcalá, Madrid, ESP.
- Molina, M. y Romero, H. (2007). *Tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del Área Metropolitana de Santiago 1989–2007, y sus efectos sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor urbanas*. (MANUSCRITOS-1050423). Santiago: Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas.
- 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, 295-310.
- Peña Llopis, J. (2010). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. Entrada, manejo, análisis y salida de datos espaciales. Teoría general y práctica para ESRI ArcGIS 9*. Alicante: Editorial Club Universitario. Universidad de Alicante.
- Pérez, J. I. (2013). Análisis del cambio de uso de suelo en una región del altiplano mexicano. Retos e impactos: 1986 - 2011. *Revista OIDLES*, 7(13). Recuperado de <http://www.eumed.net/rev/oidles/13/cambio-uso-suelo.html>
- Pickett, S., Cadenasso M., Grove, M., Nilon, C., Pouyat, R., W. Zipperer, C. y Costanza, R. (2001). Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 127-157.
- Pineda de Carías, M. C., Flores, G., Castro, M., Jiménez, P., Reyes, G. y López, E. (2015). Cambios importantes en la cobertura de la tierra y análisis de transiciones sistemáticas en un sector del occidente de Honduras. *Revista Ciencias Espaciales*, 8(2), 469-462.
- Plata R., W., Gómez D. y Bosque, S. J. (2009). Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la comunidad de Madrid (1990-2000). *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales de la Universidad de Barcelona*, 13(293). Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-293.htm>
- Pontius, R. G. Jr., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (101), 251-268.
- Ramírez, L. y Pértile, V. C. (2013). Cambio de uso de suelo y tendencias de la expansión urbana entre 1990 y 2030 en Juan José Castelli y Villa Ángela, Chaco, Argentina. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*

- (*GEOSIG*), 5(5), 194-216.
- Rasgado, G. (2013). *Modelo policéntrico de la zona metropolitana de Puebla. Movilidad y accesibilidad urbana en las nuevas centralidades de Puebla: el caso de la vía Atlxícáyotl*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Iberoamericana, Puebla, MÉX.
- Romero, H., Ordenes, F. y Vásquez, A. (2003). Ordenamiento territorial y desarrollo sustentable a escala regional, ciudades intermedias en Chile. En: Figueroa, E. y Simonetti, J. (Eds.), *Globalización y biodiversidad: oportunidades y desafíos para la sociedad Chilena* (pp. 167-224). Santiago: Universidad de Chile.
- Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Sarricolea, P. y Smith, P. (2006). Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales. Recuperado de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/118048>
- Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Sarricolea, P., Smith, P. y Vásquez, A. (2007). Caracterización de los cambios de usos y coberturas de suelos causados por la expansión urbana de Santiago, análisis estadístico de sus factores explicativos e inferencias ambientales. En: De Mattos, C. e Hidalgo, R. (Eds.), *Santiago de Chile: movilidad espacial y reconfiguración metropolitana* (pp. 251-270). Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rosas, S. S. F. (2013). Agua e industria en Puebla: El establecimiento de la fábrica textil La Covadonga, 1889-1897. *Relaciones (Zamora)*, 34(136), 223-264.
- Rossiter, D. G. (2007). Classification of urban and industrial soils in the world reference base for soil resources. *Journal of Soils and Sediments*, 7(2), 96-100.
- Sánchez, H. Á. (2008). Cambios y recomposición territoriales: Las regiones de México en la globalización. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales de la Universidad de Barcelona*, 12(270). Recuperado de <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-270/sn-270-17.htm>
- Santana, C. G. y Pineda, J.N.B. (2011). Descripción del cambio de uso y cobertura del suelo en los bosques primarios del Estado de México, durante 1976-2000. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/Conf_Ibero/doc/ET6_16_SANTANA.pdf
- Santos, J.M. (2004). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Schweitzer, S. y Rubio, F. M. L. (2014). Análisis de cambios de uso del suelo en la delegación municipal de Ingeniero White (Buenos Aires, Argentina): aplicación de geotecnologías. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 23(1), 133-146.
- Sedesol, Conapo e Inegi (2012). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. [Versión de Conapo]. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010
- Sobrinho, J. (2003). Delimitación de las zonas metropolitanas de México en 2000. En: Consejo Nacional de Población (Coord.), *La delimitación de zonas metropolitanas* (pp. 121-151). México: Instituto de Geografía-UNAM.
- Turner, B. y Meyer, W. (1991). Land use and land cover in global environmental change: considerations for study. *International Social Science Journal*, 4(43), 669-680.
- Trucíos-Caciano, R., Estrada-Ávalos, J., Cerano-Paredes, J. y Rivera-González, M. (2011). Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 359-367.
- Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R. y Mander U. (2009). Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research. *Living Reviews in Landscape Research* 3. doi: <http://dx.doi.org/10.12942/lrlr-2009-1>

- Weber, C. y Puissant, A. (2003). Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis Metropolitan Area. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 341-352.
- Yang, X. y Lo, C. (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, 23(9), 1775-1798.
- Zebadúa, A. D. (2009). *Nuevos patrones de la urbanización. Interacción económica y territorial en la Región Centro de México*. (Documento de Trabajo núm. 62). México: Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública.
- Zepeda, C., Nemiga, X. A., Lot, A. y Madrigal, D. (2012). Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénagas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, (78), 48-61.