

## **Cambios de uso de suelo y aglomeración urbana en Tlaxco, Tlaxcala**

*Land use changes and urban agglomeration in Tlaxco, Tlaxcala*

Mayela Montserrat **Gutiérrez-Carreón**; Nancy **Sierra-López**; Ramos **Montalvo-Vargas**

**Autor para correspondencia:** Dr. Ramos Montalvo Vargas, correo electrónico [rmontalvovargas@gmail.com](mailto:rmontalvovargas@gmail.com), teléfono celular 241 166 0313, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2385-5437>

Mayela Montserrat Gutiérrez-Carreón. *Maestra en Desarrollo Regional en El Colegio de Tlaxcala A. C., Av. Melchor Ocampo No. 28, San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala, C.P. 90600, correo electrónico: [mm.gcarreon@live.com.mx](mailto:mm.gcarreon@live.com.mx)*

Nancy Sierra-López. *Coordinadora de Planeación de la Facultad de Geografía UAEMex, Maestra en Ciencias Ambientales. Cerro de Coatepec s/n, Ciudad Universitaria, Toluca, Edo. De México, C.P. 50110, correo electrónico: [nansysie@yahoo.com.mx](mailto:nansysie@yahoo.com.mx)*

Ramos Montalvo-Vargas. *Doctor en Desarrollo Regional. Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (UATx), Doctor en Desarrollo Regional. Av. Universidad No. 1, Ciudad Universitaria, Tlaxcala, C. P. 90000, correo electrónico: [rmontalvovargas@gmail.com](mailto:rmontalvovargas@gmail.com)*

## Resumen

La región de Tlaxcala se encuentra ubicada en el Altiplano Central de México, su localización estratégica y su relación directa con el área metropolitana de la Ciudad de México y con el estado de Puebla, influyen en la configuración actual del territorio. A partir de los años 70, Tlaxcala se vio inmersa en un proceso de industrialización acelerada; y para los años 90, el estado centró sus actividades económicas en el sector secundario y terciario. Aunado a esto el crecimiento de las ciudades también se hizo evidente, y tal como lo documentan algunos autores pese a la precariedad de los servicios urbanos disponibles, un cierto número de ciudades continúan atrayendo a nuevos habitantes. La zona de estudio se ubica en Tlaxco, el municipio más grande de Tlaxcala, el crecimiento de esta ciudad de 1973 hasta el 2017, ha sido de 12 veces su tamaño original; sin embargo, en el periodo 2000 – 2010 se muestra la mayor expansión y aglomeración. En esa transición, es palpable el crecimiento desarticulado en los procesos de expansión urbana, debido a que las labores de actualización de los usos y destinos de suelo ocurren en espacios concretos; mientras que las autoridades definen esquemas de gobierno centrados en un protagonismo burocrático, alejado de la realidad para la correcta ejecución de la política territorial. Con la expansión física de la ciudad, el territorio de Tlaxco se ha visto afectado por los cambios de uso de suelo y el deterioro ambiental, pues las crecientes ampliaciones del espacio habitacional se han establecido en zonas de cubierta vegetal lo que también ha derivado en la reducción de especies de flora y fauna, generando entonces alteraciones en los ecosistemas.

**Palabras clave:** Uso de suelo, expansión urbana, transformaciones socio-territoriales.

## Abstract

*The region of Tlaxcala is located in the Central highlands of Mexico, its strategic location and its direct relationship with the metropolitan area of Mexico City and the state of Puebla, influence the current configuration of the territory. From the years 70, Tlaxcala was immersed in a process of accelerated industrialization; and by the years 90, the State focused its economic activities in the secondary and tertiary sectors. In addition to this, the growth of cities also became evident, and as documented by some authors despite the precariousness of the urban services available, a certain number of cities continue to attract new habitants. With the physical expansion of the city, the territory of Tlaxco has been affected by changes in land use and environmental deterioration, as the increasing extensions of the housing area have been established in areas of vegetation cover which has also resulted in the reduction of species of flora and fauna, thus generating alterations in the ecosystems.*

**Key words:** *Land use, urban expansion, socio-territorial transformations.*

## **Introducción**

La tendencia de las rápidas y profundas transformaciones resultantes por los cambios en el uso del suelo y de la vegetación en el entorno, así como las consecuencias que se han generado, son uno de los temas de mayor interés en las disciplinas ambientales de la actualidad. Sin embargo, más allá de la preocupación medio ambiental, radica en el ejercicio científico de advertir que todo cambio en el uso de suelo dada la naturaleza del espacio, su organización y producción, está alterando su genética, cuya velocidad de adaptación y resiliencia es menor a los cambios que producen las modificaciones, cambios y alteraciones que sufre el suelo por las decisiones de uso privadas, públicas y sociales.

Las transiciones territoriales, son procesos cada vez más acelerados y depredatorios de los recursos que modifican la vocación del espacio y el territorio. En este trabajo se analizan los usos de suelo del municipio de Tlaxco, está ubicado

en el norte de la entidad y tiene la mayor extensión territorial del estado de Tlaxcala con 537.39 km<sup>2</sup>. Un estudio realizado por Montalvo y col. (2017) lo considera como el segundo con mayor potencial para el desarrollo regional en Tlaxcala y alberga una de las tres reservas naturales en la entidad federativa. Las otras dos reservas naturales son: 1. La Malinche, donde están involucrados 10 municipios de Tlaxcala: Acuamanala, Chiautempan, Contla, Huamantla, Ixtenco, Mezatecochco, San Pablo del Monte, Teolocholco, Tzompantepec y Zitlatepec; y, la tercera reserva se localiza en la región poniente en los municipios de Calpulalpan y Nanacamilpa.

Se parte del supuesto de que los componentes más frágiles del territorio son susceptibles a un deterioro más acelerado y su propensión a ser alterados, obedece a una intervención humana carente de fundamentos institucionales de planificación, ordenación, gestión y administración principalmente del espacio más próximo a los asentamientos humanos; de aquí se desprende la pregunta guía del presente trabajo, que consiste en contestar ¿cuáles son los suelos que sufren la mayor pérdida en el tiempo?.

El propósito del documento, es presentar un balance del proceso de transformación de Tlaxco, municipio galardonado el 25 de septiembre de 2015 con la categoría de “Pueblo Mágico”, por la Secretaría de Turismo del Gobierno Federal; y, que por la relevancia de la actividad en el país, las dinámicas propias del sector advierten cambios no sólo en la transformación y reconversión de las actividades ligadas a la economía local, sino a los cambios propios del espacio urbano en proceso de consolidación. A raíz de la denominación de Pueblo Mágico, si bien el incremento de turistas se incrementó, la afluencia no ha sido la esperada.

Los resultados ratifican que es el suelo destinado a la agricultura, el que tiene más pérdida, no sólo porque tiene la mayor vocación y ocupación en el municipio, sino porque es la actividad que presenta mayor vulnerabilidad y riesgo para los productores, lo que provoca un alejamiento, olvido progresivo; y por tanto, una transformación con mayor velocidad en el tiempo.

## Consideraciones teóricas

El Ordenamiento Territorial (OT) en América Latina se considera un instrumento administrativo más que una herramienta de planificación del desarrollo; y, quienes lo adoptan como mecanismo para la planificación del uso de suelo como es el caso de México, Colombia, Chile o Argentina, conciben al OT como instrumento político-ambiental (Pereira, 2018).

Otro instrumento es la planificación del territorio, entendida como un proceso que busca integrar, delimitar los espacios públicos y privados, definir un patrón de uso y zonificación para mejor organización y funcionamiento del espacio disponible. Mientras tanto, el planeamiento urbano, entendido como la aplicación de la planificación, se considera un instrumento de desarrollo urbano, normativo y que garantiza la dotación adecuada de servicios, infraestructura y equipamiento comunitario (Pujadas y Font, 1998).

Un cambio en el uso del suelo se presenta cuando éste se manipula físicamente (Richters, 1995); y, para que esto suceda, hay una intervención humana que provoca transformaciones en la naturaleza. En el momento que el hombre interfiere en su entorno, se apropia y hace uso de sus recursos con la finalidad de atender necesidades propias de su existencia.

La medición en los cambios de uso de suelo, normalmente se realizan sobre archivos digitales generados mediante percepción remota (usualmente, fotografías aéreas e imágenes de satélite) o cartografía temática de cobertura, este proceso muestra transiciones, deterioros, ganancias y pérdidas en los tipos elegidos para el análisis: sin embargo, se sugiere hacer el análisis espacial en software de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para el caso del presente documento se utilizaron imágenes satelitales que permitieron analizar el espacio y representar en cartografía, bloques temáticos como agricultura, bosques, espacio urbano y los diferentes usos de suelo; como resultado, se tiene información para diversos tipos de análisis posteriores (Pérez y col., 2017).

Pontius (2004), desarrolló una metodología donde se calculan pérdidas y ganancias, cambios netos e intercambios entre categorías del uso de suelo; pero también puede haber persistencias; es decir, patrones de repetitividad a través de un método desarrollado por Braimoh (2006), con la finalidad de evaluar el uso de suelo que tiene determinado lugar. Lo anterior, se consigue elaborando una matriz cruzada de dos tiempos, en el caso de la presente investigación, se realizó con el año 1990 y 2000.

Para Bocco y col. (2001), el tratamiento y proceso para identificar los cambios de uso y cobertura debe realizarse en tres momentos: primero la identificación e interpretación cartográfica y digital del cambio; segundo, el análisis de los patrones de cambio de cobertura y uso del suelo; y tercero, el análisis de las causas del cambio de uso del suelo. A partir de este ejercicio, se buscan las diferencias espaciales mediante la observación de dos momentos de tiempo sobre los distintos componentes del territorio elegidos como usos de suelo sometidos al análisis de cambio (Rosete, 2007). Para identificar los cambios de uso de suelo, se parte en este documento de la necesidad metodológica por localizar la dispersión o concentración de los componentes en los periodos de tiempo analizados, lo que implica desde un enfoque clásico la organización del espacio.

Debe tenerse especial cuidado en el manejo de los términos espacio, territorio y uso de suelo, para el presente trabajo se entiende el uso del suelo desde un enfoque naturalista como el espacio terrestre referido a la composición de la superficie; esto es, como el medio natural (Souto, 2011) y construido que adopta categorías diferenciadas en su estado natural y modificado.

Debido a que los suelos presentan una amplia variación en el paisaje y se someten a un sistema abierto (Cotler y col., 2007), están expuestos a transformaciones, degradaciones y cambios, algunos son resultado de procesos naturales, otros de intervención antrópica y otros más donde se mezclan ambos factores como el caso de la erosión. El suelo como recurso natural, está expuesto al uso constante; sin embargo, cuando no regulan las protecciones o regulaciones,

es posible que haya consecuencias en aquellos usos de suelo más frágiles por tratarse de espacios proveedores de alimentos o recursos naturales sensibles y necesarios para satisfacer necesidades del ser humano.

Se trata entonces de advertir los cambios en los usos del suelo a partir de entender que los objetos del espacio geográfico son continuos, donde todos tienen sentido en un espacio serial, pero también los elementos componentes en el espacio suponen sistemas, colecciones heredadas del pasado entre generaciones (Santos, 2000). Identificar el cambio significa como lo llamara en su libro clásico Labasse (1973), una forma de organizar el espacio; o, desde un enfoque con tendencia al involucramiento de la voluntad del ser humano, la manera en que se recrea, apropia e identifica; es decir, la forma como se produce el espacio en otro señalamiento clásico de Lefebvre (1974).

Los cambios de uso de suelo y vegetación que se detectan y se hacen presentes, representan formas de adaptación, apropiación e identidad (Guevara y Montalvo, 2014), es la forma como se deja una huella en el espacio que se va modificando parcial y progresivamente. Esas prácticas recurrentes en el caso del ser humano y hechos resultado de fenómenos naturales, demuestran la tendencia generacional de las actividades preponderantes en el quehacer de la humanidad; si la transformación, se da en zonas agrícolas es el sector primario el que sufre esos cambios, puede ocurrir en zonas forestales, urbanas, mineras, entre otras. En todos los casos, los cambios en el uso de suelo, tiene implicaciones severas por cuando hay repercusiones en el entorno natural, su biodiversidad y los efectos sobre los ecosistemas.

## **Materiales y métodos**

Mediante geoprosos con el software *ArcMap* 10.4.1 e *IDRISI Selva*, se trabajaron imágenes satelitales *Landsat Copernicus* correspondientes al municipio Tlaxco, Tlaxcala, en cuatro cortes de tiempo. Se realizaron labores de fotointerpretación y geoprosos que se describen a continuación.

En la primera fase, se agregaron las imágenes satelitales en *ArcMap* de los años 1973, 1980, 1990, 2000, 2010 y 2017, las cuatro fueron georreferenciadas por un método de puntos capturados desde *Google Earth* y trasladados a una hoja de cálculo de Excel; desde *ArcMap* se importó dicha hoja de cálculo, con la herramienta *Create Features X, Y table*, que se encuentra en *Arc Catalog*; se le asignó un sistema de referencia espacial para convertir los puntos en formato *shape*; y, con las funciones de *Georeferencing*, *Add Control Pontis* y *Fit To Display*, se identificaron los puntos que permitieran la sobreposición de las matrices pixelares; para finalizar, se hizo la ubicación de puntos con *Update Display* para tener la georreferenciación en un mismo sistema de proyección. A partir de esas imágenes, se elaboró una tabla de aglomeración urbana y mediante generalización cartográfica, una representación del crecimiento físico en el tiempo.

Sin embargo, después de analizar los atributos de las imágenes de satélite disponibles, únicamente se trabajaron dos imágenes; una de 1990 y otra de 2000, debido a que las características de las demás matrices pixelares difieren en resoluciones y no permiten hacer el comparativo para determinar los cambios de uso del suelo con los mismos parámetros.

En la segunda fase, se empleó el *shape* de los límites municipales de Tlaxco y las imágenes para convertir de vector a raster, con *Conversion Tools, To Raster*, y *Polygon To Raster*. De esta forma, en el módulo *Spatial Analyst Tools* de la caja de herramientas, se usó *Extract* y *Extract to Mask*, para poder cargar la imagen satelital y el límite municipal para delimitar la información requerida. Posteriormente, desde *Arc Toolbox*, en *Spatial Analyst Tools*, con el módulo *Multivariate* y la herramienta *Iso Cluster Unsupervised*, se obtuvieron siete clases que se identificaron con las siguientes categorías: 1. Bosque, 2. Bosque secundario, 3.

Matorral, 4. Otros tipos, 5. Agricultura, 6. Espacio urbano y, 7. Agua. Es importante mencionar que, aunque no es una clasificación supervisada, se hicieron pruebas de validación con un par de expertos conocedores del entorno municipal.

Las categorías se asignaron en la tabla de atributos, donde se agregó un campo para enlistarlas según su correspondencia con el proceso de fotointerpretación. Se asumió como referencia un mapa base del propio *software ArcMap* como fondo del *shape* de interés de cada año, con el que se pudo fotointerpretar el resultado. Al terminar de asignar nombre a las categorías, se guardaron los cambios y se exportó cada imagen en formato *Tagged Image File Format* (TIFF) para continuar el proceso de análisis.

La tercera fase se desarrolló en el software IDRISI Selva, donde se importaron las imágenes satelitales desde su formato *tiff*, desde la pestaña *File, Import*, en la opción *Government/Data Provider Formats* y finalmente *Geotiff/tiff*. Posteriormente, en la pestaña *Modeling*, en *Environmental/Simulation Models y, Land Change Modeler*, se ingresaron las imágenes para su tratamiento; en primer lugar, la imagen más antigua y en segundo lugar la más reciente, para continuar el geoproceto, se reclasificaron las imágenes con las categorías enlistadas, posteriormente se obtuvieron las gráficas de pérdidas y ganancias, cambios totales y transiciones.

Como resultado de procesar las imágenes en *Land Change Modeler*, se obtuvieron datos en gráficas de barras y los mismos con representación cartográfica. En seguida, en la pestaña de *GIS Analysis, Database Query, Crosstab*, se ingresaron dos imágenes correspondientes a los periodos de análisis, primero la imagen más reciente y en después la antigua, se configuró en *Full cross-tabulation* y, de esta forma se obtuvieron cifras totales del área que ocupa cada categoría en el municipio.

Se trasladaron los datos obtenidos a Excel, para realizar el *Crosstab* (tabulación cruzada), las columnas representan el primer tiempo y las filas el segundo. Se marcaron las cifras de la diagonal principal, mientras que las cifras

fuera de ella son las persistencias entre ambos tiempos de cada categoría. Se obtuvo la suma vertical y horizontal de cada categoría, y se añadió una fila y columna más de ganancias y pérdidas, este dato es el resultado de la diferencia entre el total de la categoría y el dato de la diagonal principal.

La cuarta y última fase del proceso, consistió en proyectar para el año 2030, cifras futuras de la superficie a ocupar de las categorías ya conocidas, la estimación se hizo por medio de tres métodos matemáticos:

1. Aritmético: el método consiste en obtener la diferencia temporal entre la primera y última fecha ( $T_2 - T_1$ ), se obtiene la diferencia entre el año a futuro ( $TFut$ ) y el  $T_2$  ( $TFut - T_2$ ), se restan las superficies de las que se tienen datos ( $SupT_2 - SupT_1$ ); se obtiene  $K$  como resultado de dividir la diferencia de superficies entre la primera diferencia temporal obtenida, finalmente  $K$  se multiplica por el resultado de restar al tiempo futuro el  $T_2$ . Esto se traduce en la siguiente expresión:

$$\text{Superficie proyectada} = K (TFut - T_2)$$

2. Geométrico: el método inicia con la división de superficies del  $T_2$  y  $T_1$ , posteriormente se obtiene  $r$  como resultado elevar el resultado de la división anterior a la potencia 1 entre la diferencia de tiempos ( $T_2 - T_1$ ), el producto se eleva al número de años a los que se proyecta la superficie (30), la fórmula se representa de la siguiente forma:

$$\text{Superficie proyectada} = r^{30}$$

3. Logarítmico: por su nombre, el método inicia con la obtención del logaritmo natural ( $\ln$ ) de las superficies de  $T_2$  y  $T_1$ , se restan los logaritmos ( $\ln T_2 - \ln T_1$ ) y las temporalidades ( $T_2 - T_1$ ). Posteriormente se dividen los productos de las restas (Diferencia de logaritmos/Diferencia temporal), el resultado se multiplica por los años de proyección y el resultado se expresa con la letra  $I$ . Por último, la constante  $E$  se eleva a la  $I$ , y el resultado es la superficie proyectada. La fórmula se expresa del siguiente modo:

Superficie proyectada =  $E^I$

## Resultados y Discusión

Para conocer los cambios de uso de suelo en el municipio más grande del Estado de Tlaxcala, se eligieron siete categorías; a continuación, se describe brevemente cada una de ellas.

1. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO- (2000) señala que los *bosques* son tierras dotadas de especies arbóreas que rebasan al menos los cinco metros en su madurez y se extienden por más de cinco has. continuas (Montalvo y Gutiérrez, 2017).
2. El *bosque secundario*, fue alterado por la mano del hombre y a partir de reforestaciones se ha regenerado progresivamente.
3. Los *matorrales* según Rzendowski (1978), son la vegetación más abundante en México y dependen de un clima árido o desértico, Tlaxco cuenta con una superficie pequeña de esta especie.
4. La categoría de *Otros tipos*, engloba el pastizal, pradera, tular o algún otro tipo similar, para fines del presente trabajo, no resulta relevante precisar en cada uno de estos elementos.
5. La *agricultura* es la actividad de siembra y cosecha de productos que en su mayoría se destinan a la alimentación, se practica la de temporal o la de riego, por describirlas brevemente, una es dependiente de la precipitación y la última, de un sistema de riego implementado y controlado (Instituto Nacional de Estadística y Geografía -INEGI-, 2009; citado por Santiago, 2009).
6. El *espacio urbano* es el espacio de construcción social, donde se produce una vida colectiva (Harvey, citado por Delgado, 2000:50 y Blasco, 2004), en el municipio se destaca la cabecera municipal por ser el principal espacio de

asentamientos humanos, sin embargo, hay 38 centros de población dispersos en el municipio y se consideran todos en la categoría.

7. El *agua*, hace referencia a los cuerpos de agua del municipio, y aun cuando el de mayor tamaño se encuentra en el municipio de Atlangatepec, Tlaxco como municipio vecino, cuenta con considerables escurrimientos que forman jagüeyes y pequeños embalses.

Cada una de las categorías, de 1990 al año 2000 presentó cambios, es decir, tuvieron pérdidas o ganancias. La mayor cantidad en reducción se puede observar en la tabla 1. La quinta categoría que corresponde a la agricultura perdió en sólo una década poco más de 10,000 hectáreas, lo que representó el 18% de la superficie total del municipio de Tlaxco, pero también fue la categoría con mayor cantidad de ganancias con 8745.56 hectáreas; esto quiere decir que, perdió espacio físico en algunos sitios, pero logró apertura para esta actividad en otros.

**Tabla 1. Crosstab de ganancias y pérdidas entre 1990 y 2000**

	1	2	3	4	5	6	7	SUMA	PERDIDAS
1	4,713.93	1,823.85	200.88	124.38	116.91	83.70	51.21	7,114.86	2,400.93
2	1,393.56	2,879.46	741.78	674.28	334.44	134.01	61.38	6,218.91	3,339.45
3	370.71	1,083.33	1,571.13	1,070.55	1,657.35	703.71	375.93	6,832.71	5,261.58
4	141.93	659.70	965.16	1,677.24	2,105.28	900.27	427.77	6,877.35	5,200.11
5	123.48	460.35	1,825.65	2,182.59	6,507.99	3,439.71	2,016.00	16,555.77	10,047.78
6	27.27	88.02	628.65	602.73	3,006.81	2,191.59	1,518.48	8,063.55	5,871.96
7	22.77	35.28	286.38	233.46	1,524.78	1,387.44	1,627.74	5,117.85	3,490.11
SUMA	6,793.65	7,029.99	6,219.63	6,565.23	15,253.56	8,840.43	6,078.51	56,781.00	35,611.92
GANANCIAS	2,079.72	4,150.53	4,648.50	4,887.99	8,745.57	6,648.84	4,450.77	35,611.92	

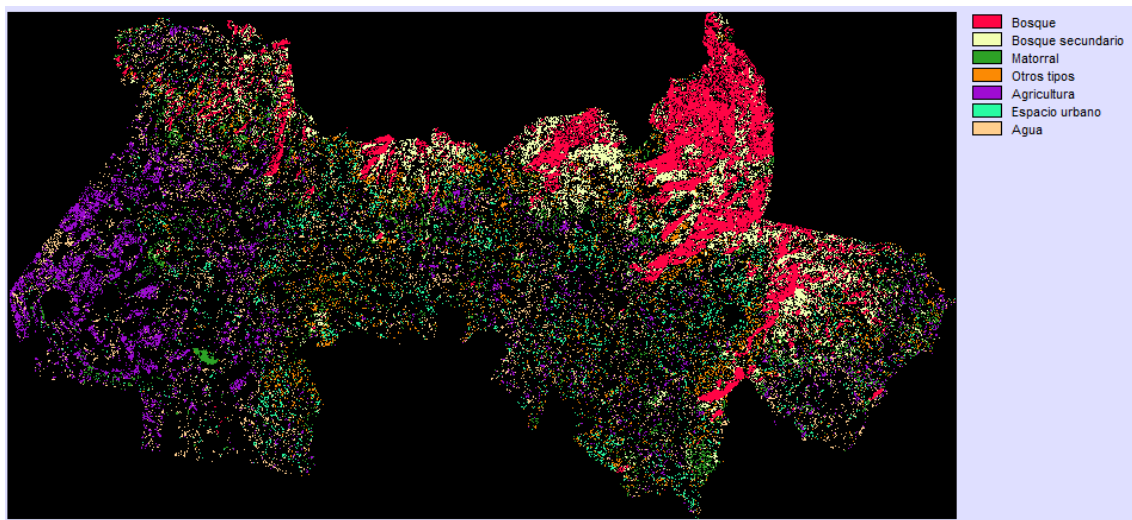
**Fuente:** construcción propia con base en imágenes satelitales Landsat 1990 y 2000.

Por otro lado, el bosque es la categoría que menor cantidad superficial perdió en esta década de análisis, alrededor de estos años, la población residente en Tlaxco se interesó en gran medida por el bosque de su municipio a partir de que inició una intensa campaña de reforestación que arrancó con las bases que dejó sentadas el Presidente de la República Vicente Fox Quedada a través de reglas de operación en la materia cuyo ejercicio se materializó en el año 2018 con el nuevo mandatario federal Felipe Calderón Hinojosa, quien inaugurara en “El Tejocote” en el municipio

de Tlaxco, el arranque del Programa Nacional Pro Árbol, que tenía una meta de sembrar 280 millones de árboles en ese año.

Por otra parte, al final de las filas y columnas de pérdidas y ganancias respectivamente, se encuentra la suma total de cada una. Resaltan las 35,611.92 hectáreas, sin embargo, no es superficie que haya perdido o ganado el municipio, sino que fueron transiciones para el crecimiento de los centros poblados y por lo tanto un cambio de vocación direccionado a las actividades propias de los procesos de aglomeración urbana.

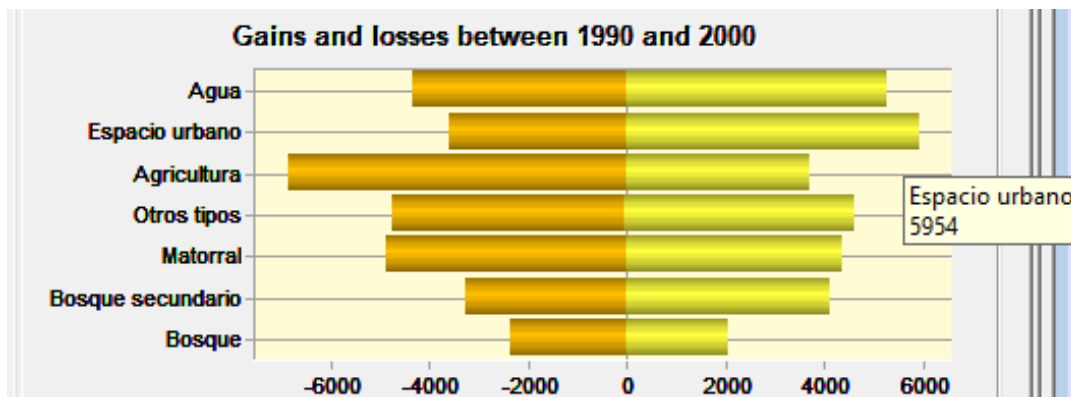
En la figura 1, se muestran las persistencias que tuvo cada categoría; es decir, la superficie que logró conservar en cantidad, como es el caso de la agricultura, que perdió, pero logró recuperar espacio; por lo tanto, su pérdida real fue de 1,302.21 has. El bosque, perdió 2,400.93, y al mismo tiempo ganó 2,079.72 has., así que el balance, fue de 321.21 hectáreas.



**Figura 1.-** Persistencia por categoría de 1990 al 2000 (National Aeronautic and Space Administration -NASA- 1990 y 2000).

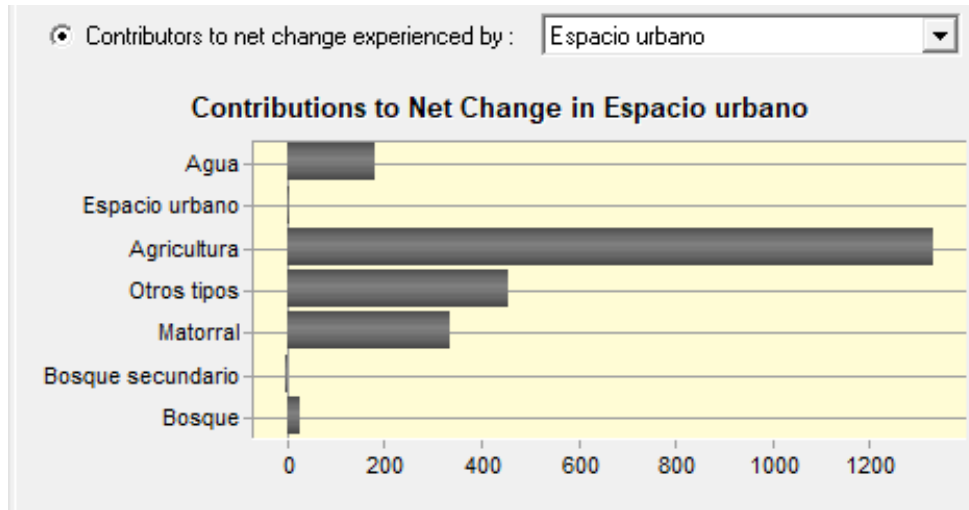
La forma gráfica de observar las pérdidas y ganancias de superficie de los diferentes usos de suelo, se muestran en la figura 2, a la izquierda las pérdidas y la tonalidad clara representa las ganancias. En un horizonte de investigación detallada y

profunda, se pueden analizar las causas de esas transiciones; sin embargo, advertirlas ya es un paso importante y debe ser materia de análisis para los estudios en cada tema; incluso, aquellos residuales que se concentran en “otros tipos” de usos.



**Figura 2.-** Pérdidas y ganancias de 1990 al 2000.

El módulo *Land Change Modeler*, permite obtener la figura 3 donde se muestran las categorías que contribuyeron a que otra ganara, en el caso del espacio urbano, fue la agricultura la que mayor superficie aportó al espacio urbano con 1,333 has., en segundo lugar, otros tipos con 458 has., después el matorral con 338, seguido del agua con 181; y, finalmente el bosque con 29 y bosque secundario con 7 hectáreas.



**Figura 3.-** Contribuciones a un cambio neto en el espacio urbano.

El cambio neto, refleja de mejor manera en qué usos se concentran las transiciones. Si las tendencias se mantienen, es posible definir escenarios de intervención. Un análisis de sitios resulta útil para conocer la exposición al riesgo de cada categoría. Asimismo, en el largo plazo, superficies que tienen altas proporciones pueden llegar a ser alarmantes, tal como se aprecian en la tabla 2, los usos de espacio urbano y bosque secundario; que, comparativamente con los cambios netos, tenían valores significativamente bajos.

**Tabla 2. Proyección superficial para el 2030.**

Categoría	1990	2000	M. Aritmético	M. Geométrico	M. Logarítmico
			2030		
1. Bosque	7,117.74	6,793.83	5,822.10	5,907.89	5,907.91
2. Bosque secundario	6,228.00	7,030.17	9,436.68	10,111.54	10,111.43
3. Matorral	6,859.98	6,222.87	4,311.54	4,645.09	4,645.13
4. Otros tipos	6,927.12	6,567.21	5,487.48	5,595.84	5,595.87
5. Agricultura	16,752.87	15,269.85	10,820.79	11,563.02	11,563.12
6. Espacio urbano	8,216.01	8,852.58	10,762.29	11,073.80	11,073.72
7. Agua	5,367.51	6,084.90	8,237.07	8,865.34	8,865.24

**Fuente:** construcción propia con tres métodos de proyección matemática.

En seguida, se presenta el tabulado de aglomeración (ver tabla 3), que explica la expansión física de la ciudad de Tlaxco. Llama la atención el acelerado crecimiento de la mancha urbana en tan poco tiempo. Se centra la atención particularmente en el espacio urbano, porque fue donde hubo más transición del territorio municipal.

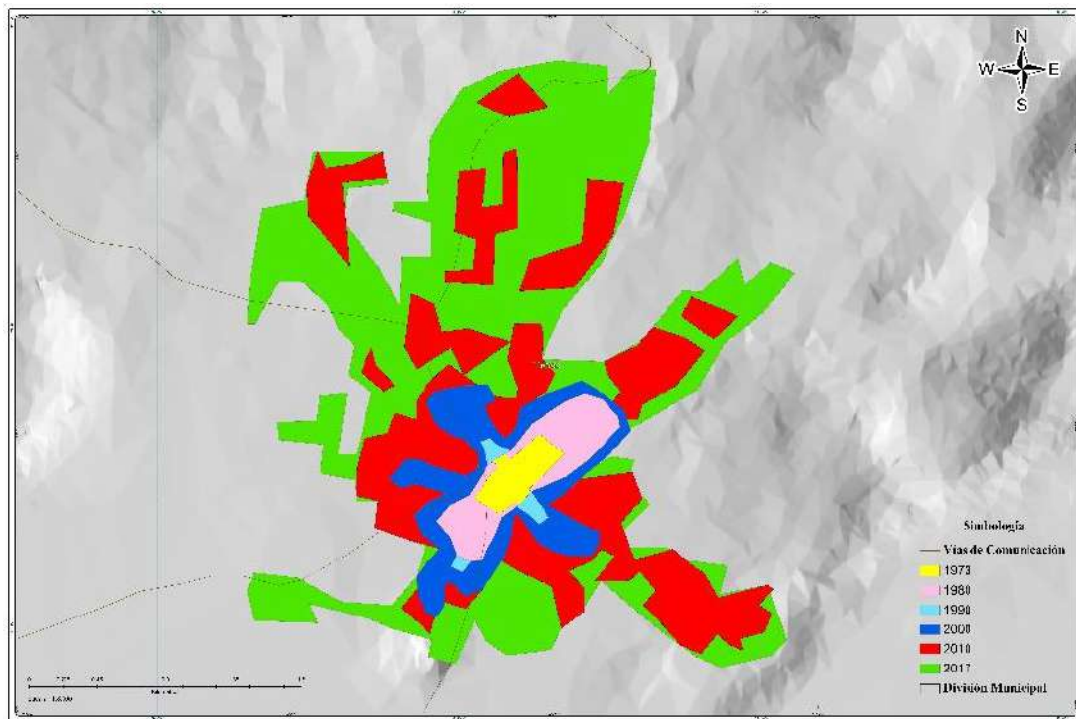
**Tabla 3. Proceso de aglomeración física de la ciudad 1973-2018**

<b>Año</b>	<b>Área urbana (has)</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Hab/has</b>	<b>Aglomeración (%)</b>
1973*	14.24	4,969	348.94	-----
1980	47.99	4,911	102.33	337.0
1990	52.73	8,141	154.39	109.9
2000	123.10	11,571	93.99	233.4
2010	352.26	14,806	42.03	286.2
2017	753.31	-----	-----	213.9
<b>Acumulado</b>				<b>1280.3</b>
* El año de la primera escena de imagen de satélite registrada en el servidor ARIA Landsat, estructura matricial de 57 centímetros en tamaño de píxel.				

**Fuente:** construcción propia con imágenes satelitales del servidor *Advanced Rapid Imaging and Analysis* (ARIA) multitemporales y Censos de población del INEGI 1970 – 2010.

El crecimiento físico de la ciudad de Tlaxco desde 1973 hasta el 2017 (ver figura 4), ha sido de 12 veces el tamaño original, pero, entre el 2000 y 2010, fue donde mayor expansión y aglomeración se presentó, esto es explicado desde diversas teorías que pueden ayudar a comprender el proceso de aglomeración. Mientras tanto, la política territorial en México encabezada por instituciones como la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), promueven un modelo de ciudad compacta; no obstante, la realidad en la mayoría de las ciudades en México se explica de mejor manera por

la idea de ciudad difusa. Hay otros modelos de ciudad que explican históricamente este proceso como alternativa el desarrollo urbano, entre ellas tenemos: ciudad compacta, ciudad vertical, ciudad difusa, ciudad amurallada, ciudad jardín, entre otros. Una de las variables que determinan la estructura física de las ciudades es la morfología urbana que tiene los siguientes elementos: la forma de la trama urbana, la tipología edificatoria y los usos de suelo; que para el caso de la cabecera municipal de Tlaxco, al igual que otros modelos como por ejemplo el del plato roto, se derivan de la reconfiguración de las ciudades.



**Figura 4.-** Aglomeración urbana en Tlaxco 1973-2017.

El crecimiento de la mancha urbana debe responder a lineamientos basados en los principios del ordenamiento territorial, sin embargo, como menciona Montalvo (2010), este crecimiento ordenado de los centros de población no establece elementos mínimos que articulen propuestas coherentes para que una región incorpore la planificación de cobertura de los servicios públicos municipales.

El referido espacio urbano en proceso de expansión no debe verse únicamente como generador de recursos económicos, sino como una construcción colectiva donde resalta la importancia de protección y conservación del medio ambiente como factor endógeno (Gutiérrez, 2011) ya que, de su cuidado, dependerá en buena medida la salud de los habitantes que tienen cercanía o dependen de los recursos que ofrecen los diferentes usos de suelo disponibles como vocación y genética territorial.

Finalmente, llama la atención que elementos como el agua presentan un comportamiento que debe analizarse con mucho cuidado, porque dependerá de la época del año en que se tome la escena de imagen de satélite. Sin embargo, para efectos del presente trabajo, al igual que el espacio urbano y el bosque secundario, están ganando terreno y puede deberse a la creación de presas, represas y jagüeyes por un lado; pero para el bosque secundario, resultado de la disminución de la masa primaria de bosque. Las demás categorías tienen una tendencia a una disminución, especialmente la agricultura, a raíz de todos los problemas estructurales del campo mexicano.

## Conclusiones

El proceso de urbanización se construye conforme la población encuentra las condiciones para hacerlo, pueden ser económicas o turísticas, ambas se relacionan con los efectos que desencadenó la política de fomento turístico primero en el Estado de Tlaxcala hacia finales de los noventa, con el impulso del sector por el Gobernador en turno Alfonso Abraham Sánchez Anaya. Esa tendencia de apoyo al turismo continuó los programas que promovió la Secretaría de Turismo del Gobierno Federal, hasta concretase toda una corriente de promoción de Tlaxco, cuando fue nombrado *Pueblo Mágico*, estos eventos, han sido factores determinantes para un incremento del comercio, turismo y nuevos residentes; y, en consecuencia, servicios

complementarios vinculados a la necesidad de vivienda, la dotación de infraestructura, equipamiento, servicios públicos y transporte. Todo lo anterior, generó expectativas en todos los sectores, la dinámica del suelo empezó a detonarse en todos sentidos: especulación, compra venta de terrenos, apertura de comercios, unidades habitacionales, crecimiento de colonias de manera exponencial, entre otros.

En este trabajo se considera al crecimiento poblacional como eje principal de los cambios proyectados; ya que, a mayor cantidad de espacio urbano, menor cobertura de bosque primario; sin embargo, resulta contradictorio, que se pueda fortalecer el bosque secundario con la finalidad de tratar de recuperar el espacio que ya ha sido aprovechado.

Lo anterior obedece a la aparición de nuevas colonias en la cabecera municipal, así como nuevos asentamientos próximos a la ciudad, donde se establecieron en forma de ramales en diferentes direcciones, por ejemplo, la colonia El Sabinal se estableció en el norte, la Vista Hermosa al oriente, ambas ahora tienen actividades forestales, por otro lado, la colonia Tepatlaxco se fue hacia el poniente y San Juan al surponiente, ambas todavía con desempeño actividad agrícola.

El proceso de aglomeración que sufrió la ciudad de Tlaxco en las últimas dos décadas se ha incrementado en más de tres veces su tamaño, eso explica las pérdidas que ha sufrido el suelo periférico de la ciudad, lo que seguramente modificará el paisaje natural y los espacios de transición buscarán un reacomodo. En consecuencia, habrá una dinámica de uso diferente, de carácter anárquico si no se contemplan instrumentos y estrategias de planificación, ordenación y gestión urbana del suelo en el municipio.

## Referencias bibliográficas

Blasco, J. (2004). Espacio urbano y espacio creativo. Texto de diálogos sostenidos en el Forum Universal de las Culturas. Consejo Nacional de la Cultura de Venezuela. Barcelona. [En línea]. Disponible en: <http://docplayer.es/69222820-Espacio-urbano-y-espacio-creativo.html>.

Bocco, G., Mendoza, M. & Masera O. (2001). “La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación”, *Investigaciones Geográficas* (pp. 18-38), Boletín, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Braimoh, A. K. (2006). “Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana”. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113. (pp. 254-263). [En línea]. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301107340>

Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público en *Gaceta Ecológica* (pp. 5 – 71), núm. 83, abril-junio, 2007, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México.

Delgado, M. (2000). *Espacio, Territorio y Ambiente* (pp. 33-176). Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geografía, Bogotá. Colombia.

FAO (2000). *On definitions of forest and forest change. Forest Department. Paper* 33. Rome, Italy. [En línea]. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2001397265>

Guevara, R. M. L. & Montalvo, V. R. (2014). Cambio de uso de suelo y vegetación derivados de la dotación de infraestructura: Sierra Norte del Estado de Puebla en *Nova Scientia* (pp. 314-336), vol. 7, Núm. 13, 2014, Universidad De La Salle Bajío

León, Guanajuato, México. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203332667017>

Gutiérrez, D. A. (2011). Ciudades posibles, en AUS (pp. 34-37), Universidad Austral de Chile, Núm, 10, Valdivia, Chile.

INEGI (2009). *Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación: Escala 1:250 000. Serie III. México.*

Labasse, J. (1973). La organización del espacio. Elementos de geografía aplicada. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local, 752 Pp.

Lefebvre, H. (1974). La producción del espacio, Ed. Capitán Swing, España, 453 Pp.

Montalvo, V. R., Ramiro, C. J. J. & Gutiérrez, C. M. M. (2017). Geografía del suelo en Tlaxcala, usos y distribución temática. El Colegio de Tlaxcala A. C. México. 76 Pp.

Montalvo, V. R. (2010). En busca del crecimiento ordenado de los centros de población en el estado de Tlaxcala. FOMIX-CONACyT-Gobierno del Estado de Hidalgo, El Colegio de Tlaxcala A. C., México. 210 Pp.

Pereira, C. A., Adame, M. S., Rosete, V. F. & Alvarado, G. A. (2018). Construcción metodológica de un modelo de ordenamiento territorial para américa latina en: Ra Ximhai (Pp. 111-131), Vol. 14 Núm. 1. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/461/46158062007/46158062007.pdf>

Pérez, S. H., Benítez, R. E. & Díaz, R. M. (2017). Sistema georreferenciado con drones en: Ra Ximhai (Pp. 65–77), Vol. 13 Núm. 3. [En línea]. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46154070004>

Pointius, R. G., Shusas, E. & McEachern, M. (2004). *Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems & Environment* 101 (2-3) En ELSEVIER (Pp. 251-268). [En línea]. Disponible en: [https://www2.clarku.edu/~rpontius/pontius\\_et al\\_2004\\_aee.pdf](https://www2.clarku.edu/~rpontius/pontius_et al_2004_aee.pdf)

Richters, J. E. (1995). Manejo del uso de la tierra en América Central hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José Costa Rica. 415 Pp. [En línea]. Disponible en: Instituto Interamericano. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8748e/A8748e.pdf>

Rosete, V. F (2008). Modelo predictivo de cambio de uso de suelo en la Península de Baja California. México. Instituto de Geografía. UNAM. Pp. 153.

Rzendowski, J. (1978). 1ª Edición digital. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de biodiversidad. CONABIO, Vegetación. México. Pp. 432.

Santos, M. (2000). La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo, razón y emoción, editorial Ariel, España. Pp. 345.

Souto, P. (2011). Territorio, Lugar, Paisaje. Prácticas y conceptos básicos en geografía, Editorial Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. Argentina. Pp. 288.

Los aerogeles de quitosano también han sido investigados como sistemas para liberación de fármacos. Zhao y col., en 2016, fabricaron aerogeles de quitosano ultraligeros y con alta porosidad, posicionándose como materiales novedosos para la carga y liberación de fármacos (Zhao y col., 2016). Adicionalmente, sus moléculas pueden variar en los valores de masa molecular y grados de desacetilación promedio o grupos aminos libres, lo cual determina la calidad y el uso de estos biomateriales. Por lo general, el método de síntesis de los aerogeles consiste en la eliminación de todos los agentes de hinchamiento en el estado gel, sin una reducción sustancial del volumen, o degradación (Doshi y col., 2018).

Zhao y col., prepararon aerogeles a base de quitosano y sílice mesoporosa a través ruta sustentable mediante la congelación de ácido silícico con quitosano en medios acuosos. Las propiedades físicas, específicamente la gelificación de los aerogeles resulto ser dependiente del cambio de pH. Se obtuvo una estructura aleatoria "racimo-racimo" entrelazada a nivel molecular, con la adición de sílice mesoporosa en los aerogeles quitosano. Este biocompuestos inorgánicos/ orgánicos, posee gran potencial como sistemas de liberación. La Figura 5 ilustra la síntesis y el aspecto físico del aerogel a base de sílice mesoporosa y quitosano, con estructura aleatoria "racimo-racimo" (Zhao y col., 2016).