



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**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.**

**ALEJANDRO TOCHIHUITL TEPOX**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

PUEBLA, PUEBLA


2016



**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR  
Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Alejandro Tochihuitl Tepox**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Luis Alberto Villarreal Manzo**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **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**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 29 de julio del 2016.

  
\_\_\_\_\_  
Alejandro Tochihuitl Tepox

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Luis Alberto Villarreal Manzo

Vo. Bo. Profesor Consejero

La presente tesis, titulada: **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**, realizada por el alumno: **Alejandro Tochihuitl Tepox**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_  
DR. LUIS ALBERTO VILLARREAL MANZO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. BENITO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. EDMUNDO ANTONIO GUTIÉRREZ DOMÍNGUEZ

ASESORA:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MARGARITA TLAPA ALMONTE

Puebla, Puebla, México, 29 de julio del 2016

# **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.**

Alejandro Tochihuitl Tepox, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

El crecimiento de las ciudades y la expansión urbana son considerados como los mayores causantes de los cambios de uso de suelos y transformación del entorno, dando lugar a nuevos patrones espaciales y temporales, claramente escasos de una planificación del territorio. El crecimiento de la población conduce a la urbanización y condiciona la disponibilidad de agua dado que muchas fuentes de agua superficial y subterránea ya no proveen el líquido vital de buena calidad y en cantidad suficiente para la población en crecimiento. El municipio de Cuautlancingo, por su ubicación geográfica y cercanía con la ciudad de Puebla, inicia un proceso de conurbación a partir de la década de los setenta, acelerándose con el establecimiento de la zona industrial y rápido crecimiento de la población. El objetivo de la presente investigación es analizar la dinámica espacial de los cambios de uso de suelo en el periodo de 1958 a 2015, generados por el crecimiento urbano y su efecto en la disponibilidad de agua potable en el Municipio de Cuautlancingo, Puebla. Para este análisis se utilizó un sistema de información geográfica que cuantifica los cambios de uso de suelo, considerando dos elementos importantes: el crecimiento urbano, incluye todas las actividades humanas que conllevan a la ocupación de un espacio geográfico y el uso de los recursos naturales, específicamente el agua. Los resultados muestran un detrimento de la superficie de uso agrícola del 50% y un aumento de la superficie urbana del 33% respecto de la superficie total del municipio para el periodo 1958 - 2015. En el caso de la dotación de agua potable, disminuyó de 17.37 a 7.23 lts/día/hab del año 2000 al 2015.

Palabras clave: análisis espacial, disponibilidad, dotación de agua, urbanización.

# **ANALYSIS OF THE CHANGES OF USE OF SOIL GENERATED BY THE URBAN GROWTH AND HIS EFFECT IN THE AVAILABILITY OF DRINKABLE WATER IN THE MUNICIPALITY OF CUAUTLANCINGO, PUEBLA.**

Alejandro Tochihuitl Tepox, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2016

The growth of the cities and the urban expansion are considered the major causes of the changes of soils usege and transformation of the environment change, giving place to new spatial and temporary special patterns, clearly scanty bosses of a planning of the territory. The growth of the population drives to the urbanization and determines the provided water availability that many sources of superficial and underground water already do not provide the vital liquid of good quality and in sufficient quantity for the population in growth. Cuautlancingo municipality, for its geographical location and nearness with the Puebla city, initiated a process of conurbati3n since the decade of the seventies, hastening with the establishment of the industrial park and rapid growth of the population. The aim of the present investigation is to analyze the spatial dynamics of the changes of soil usage in the period from 1958 to 2015 generated by the urban growth and its effect in the availability of drinkable water in the Municipality of Cuautlancingo, Puebla. For this analysis, a system of geographical information was used in order to quantify the changes of soil usage, considering two important elements: the urban growth, considering that all the human activities carry the occupation of a geographical space and the use of the natural resources, specifically the water. The results show a detriment of the surface of agricultural use of 50 %. In addition, an increase of the urban surface of 33 % to concern of the total surface of the municipality for the period 1958 to 2015. In case of the endowment of drinkable water, it diminished from 17.37 to 7.23 lit/day/inht. from 2000 to 2015.

Keywords: availability, endowment of water, spatial analysis, urbanization.

## **Agradecimientos**

Al Colegio de Posgraduados *Campus* Puebla, por haberme dado la oportunidad de continuar mi formación académica y realizar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Maestría.

Agradezco de manera especial al Dr. Luis Villarreal Manzo por aceptarme como su estudiante y ser mi consejero para realizar esta tesis de Maestría. Así como su apoyo confianza y compartir sus conocimientos para guiar mi trabajo, el cual se ve reflejado en el esfuerzo de ambos con la conclusión de la misma.

Gracias a los doctores que integraron mi consejo particular: Benito Ramírez Valverde, Edmundo A. Gutiérrez Domínguez y Margarita Tlapa Almonte, por su disposición y tiempo para asesorar y revisar mi trabajo de investigación.

A los profesores de PROEDAR que contribuyeron a mi formación académica, transmitiendo sus conocimientos tanto académicos como experiencias de trabajo en campo.

A mis compañeros de generación y amigos del colegio, por la convivencia, tiempo compartido y amistad, en especial a la Mtra. Wendy J. Ascencio López y Mtro. Jorge Merino Dionicio, y con afecto especial a la Mtra. Lucia Hernández Vivanco por compartir su tiempo y experiencia para el intercambio de ideas académicas y su apoyo en trabajo de campo.

Por ultimo a mi amigo Lic. Carlos A. Flores Pérez por compartir su amistad y tiempo así como sus conocimientos cartográficos.

## **Dedicatoria**

### **A mis papás**

*Gil Tochihiuitl Zacatzontle y Rafaela Tepox López*



Con mucho cariño y amor a quienes les agradezco eternamente la formación que me han dado como persona de bien, proporcionándome su apoyo incondicional en todo momento, comprensión y sobre todo respetando mis decisiones para lograr mis metas, siendo mi fuerza y ejemplo para seguir adelante. Este logro es suyo.

### **A mis hermanos**

*Paul, Esmeralda y Carmen*



Por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y ánimos para alcanzar esta meta, estando en las buenas y malas, teniendo el tiempo disponible cuando necesite de su ayuda sin pretexto alguno.

### **A mis sobrinos**

*Carlos Eduardo, Itzel, Josué Antonio y Rafael*



Por transmitirme esa alegría y energía que muchas veces me hacía falta a lo largo de este trabajo de investigación.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO I. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>3</b>
1.1. Revisión de literatura.....	3
1.2. Objetivo general.....	8
1.3. Objetivos específicos.....	8
1.4. Hipótesis general.....	9
1.5 Hipótesis específica.....	9
1.6. Referencias citadas.....	10
<b>CAPITULO II. DINÁMICA DEL USO DE SUELO DEL MUNICIPIO DE CUAUTLANCINGO, PUEBLA: ANÁLISIS DEL CAMBIO Y LA PERSISTENCIA</b> .....	<b>15</b>
2.1. Resumen.....	15
2.2. Abstract.....	16
2.3. Introducción.....	17
2.4. Materiales y métodos.....	19
2.4.1. Área de estudio.....	19
2.4.2. Metodología.....	20
2.5. Resultados.....	25
2.5.1. Cambios de uso de suelo del municipio de 1958 a 2010.....	28
2.6. Discusión.....	34
2.7. Conclusiones .....	38
2.8. Referencias citadas.....	40
<b>CAPITULO III. POBLACIÓN, CAMBIO DE USO DE SUELO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA: EL DESAFÍO ACTUAL</b> .....	<b>44</b>
3.1. Resumen.....	44
3.2. Abstract.....	45
3.3. Introducción.....	46
3.4. Materiales y Métodos.....	49
3.4.1. Área de estudio.....	49
3.4.2. Metodología.....	50



3.5. Resultados y discusión.....	54
3.5.1. Cambio de uso de suelo y crecimiento urbano.....	54
3.5.2. Relación entre uso de suelo y abastecimiento de agua en Cautlancingo.....	56
3.6. Conclusiones.....	66
3.7. Referencias citadas.....	68
<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 1</b>	
Cuadro 1. Áreas de uso y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica.....	<b>4</b>
<b>Capítulo 2</b>	
Cuadro 1. Características de las fotografías aéreas multitemporales analizadas.....	<b>21</b>
Cuadro 2. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferente fecha.....	<b>23</b>
Cuadro 3. Tipología de uso de suelo. ....	<b>29</b>
Cuadro 4. Superficies de uso de suelo de 1958 a 2010.....	<b>30</b>
Cuadro 5. Matriz de tabulación cruzada.....	<b>2</b>
Cuadro 6. Cambios en los usos de suelo del Municipio de Cuautlancingo, Puebla de 1958 a 2010.....	<b>32</b>
<b>Capítulo 3</b>	
Cuadro 1. Población rural y urbana del municipio de Cuautlancingo, Puebla.....	<b>54</b>
Cuadro 2. Aprovechamientos de agua subterránea, uso y volumen concesionado....	<b>58</b>
Cuadro 3. Cobertura de agua potable en hogares del municipio de Cuautlancingo, Puebla.....	<b>60</b>
Cuadro 4. Características de los pozos para el abastecimiento de agua potable del municipio de Cuautlancingo.....	<b>62</b>
Cuadro 5. Dotación de agua potable para uso urbano.....	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 2</b>	
Figura 1. Ubicación del área de estudio. ....	<b>19</b>
Figura 2. Metodología aplicada para el análisis de las fotografías aéreas y determinación de los cambios de uso de suelo.....	<b>22</b>
Figura 3. Patrones de expansión y conurbación del municipio de Cuautlancingo Puebla.....	<b>27</b>
Figura 4. Transformación del uso de suelo del municipio de Cuautlancingo.....	<b>31</b>
Figura 5. Pérdidas, ganancias y persistencias de las categorías de suelo de 1958 a 2010 del municipio de Cuautlancingo, Puebla .....	<b>33</b>
Figura 6. Transportes y comunicación del municipio de Cuautlancingo Pue.....	<b>34</b>
<b>Capítulo 3</b>	
Figura 1. Ubicación del área de estudio. ....	<b>49</b>
Figura 2. Crecimiento urbano y dinámica de cambios de uso de suelo del municipio de Cuautlancingo, Puebla del 2000 al 2015.....	<b>55</b>
Figura 3. Ubicación y so de aprovechamiento de agua subterránea y superficial del municipio de Cuautlancingo.....	<b>57</b>
Figura 4. Ubicación de pozos de uso público urbano del municipio.....	<b>59</b>
Figura 5. Relación de satisfacción de servicio de agua potable.....	<b>65</b>

## **Introducción general**

Las actividades humanas han transformado el territorio y modificado severamente el entorno natural, alterando el funcionamiento de los ecosistemas. La tendencia es el reemplazo de suelo y coberturas naturales por suelos agrícolas y zonas urbanas, lo cual repercute negativamente en la biodiversidad que los sistemas naturales proporcionan. Las actividades van desde la tala de árboles, prácticas agrícolas, la intensificación de la producción agrícola, la creación de zonas industriales hasta la expansión de centros urbanos (Zepeda *et al.*, 2012; Jarvis y Young, 2005). Estos cambios han sido tan dramáticos que están afectando, de manera negativa la vida en el planeta (Aguayo, 2009).

El municipio de Cuautlancingo, Puebla, es un claro ejemplo de este tipo de transformación, con una superficie de 34.239 km<sup>2</sup> alberga a una población en constante crecimiento de 12044 habitantes en 1960, alcanzando 112,225 para el 2015 (INEGI, 2015). Colocándolo como uno de los municipios de mayor crecimiento poblacional a nivel nacional. Tradicionalmente estuvo asociado a las actividades agrícolas, sin embargo, por su ubicación, cercanía con la ciudad de Puebla y sobre todo la expansión del área metropolitana, fue evidente su rápido crecimiento urbano.

El sector industrial jugó un papel crucial en este proceso de urbanización y crecimiento urbano, en especial la industria automotriz. Lo que motivó que en la actualidad se haya generado un acelerado desarrollo industrial y consecuentemente comercial y habitacional, lo que explica la actual configuración del espacio municipal, caracterizado por un proceso de transformación territorial que conduce al cambio de uso de suelo y pérdida de importantes fuentes superficiales de agua (manantiales), siendo estos factores los que producen mayores cambios espaciales.

Este acelerado crecimiento de la población impacta severamente la dotación de servicios públicos particularmente el abastecimiento y dotación de agua potable, ya que no se cuenta con la infraestructura necesaria para dotar de agua a las viviendas y aún más grave es, que el volumen de agua subterránea extraído es insuficiente para el total de la población.

Ante esta problemática se plantea el siguiente objetivo de investigación: analizar la dinámica espacial de los cambios de uso de suelo en el periodo de 1958 a 2015 generados por el crecimiento urbano y su impacto en la disponibilidad de agua potable en el Municipio de Cuautlancingo, Puebla.

La tesis se estructuró en tres capítulos, en el primero se presenta el marco metodológico conformado por la revisión de la literatura que sirvió de base para la elaboración de la presente tesis. Se enfocó en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y conceptos utilizados para el análisis de los cambios de uso de suelo como consecuencia del crecimiento urbano y su repercusión en la disponibilidad y dotación de agua potable a la población del municipio. En este capítulo se incluyen los objetivos e hipótesis de la investigación.

El segundo capítulo muestra los resultados de la cuantificación de los cambios y persistencias de los usos de suelo del municipio en el periodo comprendido entre 1958 y 2010, lo que permitió el análisis de la dinámica espacio temporal del municipio.

En el capítulo tercero, se determinaron los cambios de uso de suelo generados por el crecimiento urbano y su relación con el uso, disponibilidad y dotación de agua en el municipio de Cuautlancingo, Puebla, del 2000 al 2015. Posteriormente, se presentan las conclusiones y finalmente el apartado de recomendaciones.

## **CAPITULO I. MARCO METODOLÓGICO**

### **1.1. Revisión de literatura**

Partiendo de la definición de teoría que elabora Kerlinger (2001): “Una teoría es un conjunto de constructos (conceptos) interrelacionados, definiciones y proposiciones que presentan un punto de vista sistemático de los fenómenos mediante la especificación de relaciones entre variables, con el propósito de explicar y predecir los fenómenos”. Desde otro punto de vista, la teoría es una forma de ordenar el pensamiento para entender la realidad (Ramírez, 2003). De este modo, en el presente apartado se abordan los conceptos básicos utilizados para analizar los cambios de uso de suelo como consecuencia del crecimiento urbano del municipio de Cuautlancingo, su conurbación con la ciudad de Puebla, y cómo lo anterior, afecta la disponibilidad del agua para la población del municipio.

Se parte del análisis del uso de los SIG centrado principalmente en los cambios de uso de suelo, considerando dos elementos importantes: el crecimiento urbano derivado de todas las actividades humanas que conllevan a la ocupación del espacio geográfico y el uso de los recursos naturales, específicamente el agua.

A partir de la década de los setenta, los SIG han experimentado un gran desarrollo, vinculados con la investigación geográfica y dentro de un marco multidisciplinario para el análisis de la realidad espacial y la toma de decisiones (Gutiérrez y Gould, 1996). Resultando eficaz en el manejo y análisis de toda información que pueda ser georreferenciada, sintetizando el espacio, y sobre todo permite la cuantificación del impacto en un territorio, de lo que posteriormente se derivan estrategias. Es por ello que los sistemas de información geográfica son definidos como un conjunto de programas y aplicaciones informáticas que permiten la gestión de datos

organizados referenciados espacialmente (Otero, 1999). En el cuadro 1, se presentan las diferentes áreas de aplicación de los SIG.

Cuadro 1. Áreas de uso y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica

SISTEMA	TEMAS	EJEMPLOS
<b>Físico Natural</b>	<i>Clima</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Modelación de variables microclimáticas</li> <li>◆ Estudios atmosféricos</li> </ul>
	<i>Biología/ecología</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Delimitación de hábitat potencial de especies animales.</li> </ul>
	<i>Geomorfología/Geología</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Búsqueda de localización de extracciones minerales</li> </ul>
	<i>Hidrología</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Cuencas, ríos, etc.</li> </ul>
	<i>Rasgos Naturales</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Procesos de erosión</li> <li>◆ Evaluación de impacto ambiental</li> <li>◆ Vulnerabilidad y riesgos de los asentamientos</li> </ul>
	<i>Territorio</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Proyecto de cartografía básica digitalizada</li> </ul>
<b>Socio – económico</b>	<i>Espacios Naturales</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Protección y conservación de sistemas naturales</li> </ul>
	<i>Población y Sociedad</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Diseño de corredores verde</li> <li>◆ Análisis de densidades urbanas</li> <li>◆ Evolución de usos de suelo</li> </ul>
	<i>Infraestructuras</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Redes (agua, gas, electricidad, teléfono, alcantarillado etc.)</li> </ul>
	<i>Defensa y Seguridad</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Sistemas de información para seguridad pública</li> </ul>
	<i>Servicios Públicos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Distribución de equipamiento</li> </ul>
	<i>Actividad Primaria</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ SIG para la ordenación de las explotaciones agrarias</li> </ul>
	<i>Actividad Industrial</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Búsqueda de localización de actividades industriales</li> </ul>
	<i>Actividad Comercial</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Gestión de redes de oficinas bancarias</li> <li>◆ Inventario de comercios</li> <li>◆ Estudio de mercado</li> </ul>
	<i>Actividad Turística</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Mapas de recursos y rutas turísticas</li> </ul>
<b>Jurídico – Administrativo</b>	Planificación	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Elaboración de Planes de Ordenación de Recursos Naturales</li> </ul>
	Gestión	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Control de tráfico</li> </ul>

Fuente: elaboración propia

La dinámica de los usos de suelo es un tema relevante y ha llevado a la conformación de la iniciativa de investigación, “análisis del cambio de uso y cobertura del suelo”, LUCC, por sus siglas en inglés *Land Use and Cover Change*, en la cual se enmarcan y desarrollan un gran número de proyectos y estudios en esta disciplina, impulsado la nueva ciencia de los cambios de uso y cobertura del suelo. Los principales avances de esta ciencia abordan la observación y el monitoreo de la dinámica de uso del suelo, con el fin de entender las causas, impactos y consecuencias de estos cambios sobre el territorio y su población (Rindfuss *et al.*, 2004; Turner *et al.*, 2007).

Los cambios de uso de 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 Sendra, 2008) y son considerados como una de las causas de la degradación ambiental, pérdida de funciones y servicios ambientales en los territorios donde ocurren estos procesos (Mendoza *et al.*, 2002; Pauleit *et al.*, 2005; López y Bocco, 2006), razón de la que parte el especial interés por su estudio.

El concepto “uso del suelo” se utiliza para denotar una clasificación de las actividades humanas que ocupan la superficie del suelo como: agricultura, pastoreo, recursos forestales y mineros, vivienda, industria, infraestructuras, etc., (Garraín *et al.*, 2007). El uso del suelo se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan o desarrollaron sobre una cobertura referida como la descripción del material físico en la superficie de la tierra (Bocco *et al.*, 2001).

Ante el potencial que representan los SIG, se han escrito y publicado una gran cantidad de textos relacionados con el uso de los mismos, buscando nuevas metodologías y usos que posibilitan un nuevo desarrollo y acercamiento a los problemas espaciales y territoriales, tal es el caso de las problemáticas derivadas del proceso de urbanización; convirtiéndose en un vínculo entre la geografía y la ordenación del territorio, su análisis, gestión y toma de decisiones territoriales (Santos, 2004; Chuvieco, 2005; Uuemaa *et al.* 2009; Peña, 2010).

Donde lo urbano tiene una serie de significados relacionados a una variedad de condiciones, tales como la densidad de población, cobertura del suelo, las prácticas culturales, uso y transformación de recursos naturales, etc. Que como resultado de la urbanización se conforma un ambiente heterogéneo, geoméricamente más complejo, y ecológicamente más fragmentado (Andersson, 2006).



El crecimiento de las ciudades son consideradas como uno de los mayores causantes de los cambios de uso de suelos y transformación del entorno (ecosistemas y servicios ambientales) (Pickett *et al.*, 2001; Kinzig *et al.*, 2005; Gong *et al.*, 2011).

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 y dejando a su paso espacios vacíos o semivacíos”. 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 sobre el medio ambiente, que ocurre mediante una serie de cambios de usos y coberturas naturales o seminaturales por usos y coberturas urbanas. Las ciudades son interesantes, al ser dominadas por una sola especie, los seres humanos, que involucra factores social y culturales fuertemente involucrados en la formación de la identidad del sistema (Grimm *et al.*, 2000; Pickett *et al.*, 2001). Sin embargo, nuestro conocimiento y comprensión de los efectos de estos rasgos urbanos y ecológicos están lejos de ser únicos y completos (Andersson, 2006).

De la misma forma, López *et al.* (2001) y Molina (2007) señalan que los cambios de usos y coberturas del suelo son procesos considerablemente dinámicos y continuos en ciudades en proceso de expansión y en las zonas que comprenden sus áreas metropolitanas. En general, la expansión urbana y los cambios de uso de suelo asociados, demandan mayor cantidad de servicios y recursos lo cual impacta el ambiente (Jiménes *et al.*, 2008).

Autores como Trucíos-Caciano *et al.* (2001); Merlotto *et al.* (2012) y López, (2001); han realizado estudios sobre cambios de uso de suelo generados por crecimiento urbano y actividades antropogénicas evidenciando los nuevos patrones espaciales y temporales, claramente escasos de una planificación del territorio y su influencia en el medio ambiente. Al

respecto Lambin *et al.* (2001) y Aldana y Bosque (2008) señalan a los cambios de uso y cobertura, como la conversión ocurrida en una unidad espacial, producto de un proceso dinámico que refleja una secuencia de decisiones tomadas por los usuarios del suelo. Para mostrar ese proceso dinámico de conversión espacial utilizan el concepto de conversión o reemplazo, describe el cambio de un tipo de cubierta por otro, mientras la modificación o transformación es cuando no se operan cambios de categoría pero si se detecta algún nivel de afectación en uno o varios atributos de una cobertura.

Para el caso de esta investigación se utilizó, para mostrar la dinámica de conversión espacial, la *matriz de tabulación cruzada* siendo ésta un punto de partida fundamental en el análisis del cambio de suelo, utilizada para evaluar el cambio total de categorías de suelo de acuerdo con dos componentes: cambio neto y de intercambio, ganancias y pérdidas brutas (Pontius *et al.* 2004).

A medida que las ciudades se expanden dejan al descubierto suelo, matorrales y cubierta forestal dentro y alrededor de las áreas urbanas que se transforman en superficies impermeables como: carreteras, estacionamiento, lotes, techos, aceras y otras superficies impermeables. Esto a su vez afecta a las características de la escorrentía, la producción de la contaminación de fuentes no puntuales, transporte y, finalmente, la calidad del agua (Wilson y Weng, 2010).

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) En este proceso de crecimiento urbano e industrial no planificados, y el cambio en el uso del suelo, entre otros factores, amenaza la disponibilidad de agua dado que muchas fuentes de agua superficial y subterránea ya no proveen el líquido vital de buena calidad y en cantidad suficiente para la población en crecimiento (Salas y Mendoza 2006).

Evidentemente, la urbanización seguirá siendo uno de los principales problemas mundiales, por lo tanto, el desafío radica en cómo disminuir sus impactos negativos, manteniendo los beneficios económicos y beneficios sociales como lo señala Foley *et al.* (2005).

## **1.2. Objetivo General**

Analizar la dinámica espacial de los cambios de uso de suelo en el periodo de 1958 a 2015 generados por el crecimiento urbano y sus efectos en la disponibilidad de agua potable en el municipio de Cuautlancingo, Puebla.

## **1.3. Objetivos Específicos:**

Cuantificar las pérdidas, ganancias y persistencias de los usos de suelo en el municipio de Cuautlancingo, Puebla en el periodo de 1958 a 2010 que permitan el análisis de la dinámica espacial y temporal.

Determinar los cambios de uso de suelo generados por el crecimiento urbano y su relación con el uso, disponibilidad y dotación de agua en el municipio de Cuautlancingo, Puebla en el periodo 2000 al 2015.

#### **1.4. Hipótesis general**

En las últimas décadas se ha presentado un fuerte cambio en el uso de suelo agrícola por el proceso de crecimiento industrial y urbano.

#### **1.5. Hipótesis específica**

El establecimiento de la industria automotriz y la construcción de infraestructura vial, favorecieron el cambio de uso de suelo agrícola a uso urbano del municipio de Cuautlancingo, Puebla.

El incremento de la población del municipio de Cuautlancingo, Puebla generó además de los cambios de uso de suelo agrícola a uso urbano, un aumento en la demanda de agua potable y la disminución de su dotación.

## 1.6. Referencias citadas

- Aguayo, M., Pauchard A., Azócar, G. y Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 361-374
- 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*, N° 8, pp. 139-168. ISSN: 1578-5157.
- Andersson, E. (2006). Urban landscapes and sustainable cities *Ecology and Society* 11(1): 34.
- Bocco, G., Mendoza, M. y Masera, O. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. UNAM México*. N° 44. Pp. 18-38.
- 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? En *Boletín de la AGE* N° 40. Madrid, Pp. 35-54.
- De Mattos, C. (2001). Movimientos del capital y expansión metropolitana en las economías emergentes Latinoamericanas. *Revista De Estudios Regionales* N° 60. Universidad de Andalucía, Málaga, España. ISSN: 0213-7585. Pp. 15-43.
- Foley, J. A., De Fries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., & Helkowski, J. H. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309 (5734), 570-574.
- Garraín, D., Vidal, R. y Franco, V. (2007). Ocupación y transformación del suelo de las carreteras españolas. Proyecto: Indicadores de impacto y vulnerabilidad de las infraestructuras de transporte. Concurso Público de Ayudas a la Investigación 2005 Orden FOM/2376/2005.
- Gong Ch., Chen J. & Yu, S. (2011). Spatiotemporal dynamics of urban forest conversion through model urbanization in Shenzhen, China. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 32, No. 24, 20 December 2011, 9071–9092

- Grimm, N. B., Grove, J. G., Pickett, S. T., & Redman, C. L. (2000). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems urban ecological systems present multiple challenges to ecologists. Pervasive human impact and extreme heterogeneity of cities, and the need to integrate social and ecological approaches, concepts, and theory. *BioScience*, 50(7), 571-584.
- Guevara, S., De la Torre, A. J., & Rivera, P. (2001). Pobreza y degradación ambiental. Un enfoque de acervos. México. D.F.: INESEMARNAT.
- Gutiérrez, J. y Gould, M. (1996). SIG: Sistemas de Información Geográfica. Colección de Espacios y Sociedades, número 2.
- Jarvis P. J., & 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 School of Applied Sciences University of Wolverhampton
- Jiménez, M. J., González, M. J., Escalona, M., Valdez, J. R. y Aguirre, C. A. (2008). Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano, Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 17, núm. 3, 2011, pp. 389-406 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México
- Kerlinger, F.N. y H.B. Lee. (2001). Investigación del comportamiento. 4a Edición. McGraw-Hill. México, D.F. 810 p.
- Kinzig, A. P., P. Warren, C. Martin, D. Hope, & M. Katti. (2005). The effects of human socioeconomic status and cultural characteristics on urban patterns of biodiversity. *Ecology and Society* 10(1): 23.
- Lambin, E. F., Turner, B. L, Helmut, J. & Geist, S. B. (2001) “The causes of land-use and land-cover change. Moving beyond the myths”. *Global environmental change* 11, pp 261-269.
- [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, UNAM Num.45.*
- Lopez, E. y Bocco, G. (2006). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo. [En línea]: <http://www.oikos.unam.mx/laboratorios/geoecologia/PDF/CAMBIO/2USODELSUELO.PDF>> [consulta: 15 enero 2015]

- 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, UNAM*. Núm 49. Pp 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*, núm. 53, 2012, pp. 159-176. Pontificia Universidad Católica de Chile Santiago, Chile.
- Molina, M. (2007). Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área metropolitana de Santiago sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor. *Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile*, 119 págs.
- Otero, I. (1999). Paisaje, teledetección y SIG. Conceptos y aplicaciones. España: Fundación Conde del Valle Salazar.
- Pauleit, S., Ennos, R., & Golding Y. (2005). Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change: a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* N° 71, Ed. Elsevier.
- 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. Universitario.
- Pickett, S., Cadenasso M., Grove, M., Nilon, C., Pouyat, R., W. Zipperer, C., & Costanza, R. (2001). Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas. *Annu Rev. Ecol. Syst.* 2001. 32:127–57.
- Pontius, R. G. Jr., Shusas, E. & McEachern, M. (2004), “Detecting important categorical land changes while accounting for persistence”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, no. 101, pp. 251–268.
- Ramírez, B. (2003). Modernidad, posmodernidad, globalización y territorio. Un recorrido por los campos de las teorías. México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Miguel Ángel Porrúa.

- Rindfuss, R., Walsh, S., Fox, J., & Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: Challenges and methodological issues". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Vol. 101 No. 39 13976-13981.
- 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. Santiago: Programa interdisciplinario de estudios de Biodiversidad (PIEB), Universidad de Chile. Pp. 167-224.
- Romero, H., Molina, M., Moscoso, C., Sarricolea, P., Smith, P. y Vasquez, 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. (Editores), Santiago de Chile, movilidad espacial y reconfiguración metropolitana. Pp. 251-270.
- Salas, J. y Mendoza A. (2006). Problemática del agua y crecimiento urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua
- Santos, J.M. (2004). Sistemas de Información Geográfica. Madrid. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 460 Pp.
- Turner, B. & Meyer, W. (1991). Land use and land cover in global environmental change: considerations for study. International Social Science Journal, N° 43, Vol. 4, pp. 669-680.
- Turner, B., Lambin, E., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. National academy of sciences of the United States of America. Vol. 104 No. 52, 266-271.
- 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, vol. 29, núm. 4, octubre-diciembre, pp. 359-367 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México
- Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R., & Mander U. (2009). Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research living reviews in landscape. Research 3.



Wilson, C., & Weng, Q.(2010). Assessing surface water quality and its relation with urban land cover changes in the lake calumet area, greater Chicago. *Environmental Management* 45:1096–1111

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, UNAM, Núm. 78, pp. 48-61*

## **CAPITULO II. DINÁMICA DEL USO DE SUELO DEL MUNICIPIO DE CUAUTLANCINGO, PUEBLA: ANÁLISIS DEL CAMBIO Y LA PERSISTENCIA.**

### **2.1. Resumen**

El municipio de Cuautlancingo, por su ubicación geográfica y cercanía con la ciudad de Puebla, inicia un proceso de conurbación a partir de la década de los setenta, acelerándose con el establecimiento de la zona industrial y el cambio de uso de suelo. La presente investigación tiene como objetivo, analizar la dinámica de los cambios de uso de suelo del municipio de Cuautlancingo, Puebla, en el período de 1958 al 2010. Para cumplir con el objetivo se definieron cuatro tipologías de uso de suelo: agrícola ejidal, agrícola propiedad privada, urbano habitacional e industrial. A través del procesamiento de fotografías aéreas con un SIG se determinaron pérdidas y ganancias de los usos de suelo. De los 33.74 km<sup>2</sup> de la superficie agrícola del municipio en 1958, ésta se redujo a 17.41 km<sup>2</sup> para el año 2010 lo que representó un 52% de reducción, es decir 16.26 km<sup>2</sup>, de los cuales 7.60 km<sup>2</sup> para uso urbano habitacional y 5.10 km<sup>2</sup> para uso industrial. Además, el crecimiento poblacional acompañó casi al mismo ritmo a la expansión urbana, creciendo seis veces más de 1960 a 2010. Es importante recalcar que aunque la superficie industrial es menor que la habitacional, es precisamente la industria quien detona el crecimiento urbano en el municipio por la llegada de nuevos centros de trabajo, vías de comunicación, y con ella la creación de nuevas unidades habitacionales.

Palabras Clave: cambio de uso de suelo, análisis espacial, matriz de tabulación cruzada, crecimiento urbano.

## **2.2. Abstract**

Cuautlancingo municipality, according with the geographical location and nearness to Puebla City, begins a process of conurbation from the seventies, accelerating establishment of the industrial zone and changing use soil. The present investigation has the purpose to analyze the dynamic of the change on the soil usage in Cuautlancingo, Puebla, from 1958 to 2010. To meet the goals four types of soil usage were defined: village-owned-collective agriculture, private agriculture, urban residential and industrial. Through the processing of aerial photos with GIS, losses and profits of land uses was determined. Of the 33.74 km<sup>2</sup> of municipal agricultural land in 1958, it dropped to 17.41 km<sup>2</sup> by 2010, representing a 52% reduction, which is 16.26 km<sup>2</sup>, withing which 7.60 km<sup>2</sup> for urban housing use and 5.10 km<sup>2</sup> industrial use. In addition, the population growth almost as fast urban expansion, growing six times more from 1960 to 2010. It is important to say that although industrial area is minor than the housing, it is industry which precisely detonates urban growth in the town through the stablishment of new workplaces, communication routes, and with it the settlement of new housing units.

Keywords: change in soils use, spatial analysis, matrix cross-tabulation, urban growth.

### **2.3. Introducción**

El crecimiento de las ciudades es un proceso territorial y socioeconómico que conduce al cambio irreversible de los usos de suelo, es decir, en áreas donde anteriormente predominaba la cobertura vegetal, se desarrollaron actividades agropecuarias, habitacionales o industriales (Weber & Puissant, 2003). Estas transformaciones territoriales, se aceleraron durante la segunda mitad del siglo XX, dejando como consecuencia la fragmentación de hábitats, pérdida de especies, contaminación, etc. Un ejemplo claro del crecimiento de zonas urbanas, es la presión sobre áreas rurales y sus recursos naturales (Zebadúa, 2009).

Estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), predicen un crecimiento urbano continuo, indicando 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 incrementé hasta un 67%, es decir, que la población urbana alcanzará 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. Donde, el constante crecimiento urbano y la ausencia de planificación han generado condiciones deficientes de habitabilidad que afectan la calidad de vida de sus habitantes (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, tanto ejidales como de propiedad privada al incorporarse a zonas urbanas, muchas veces en forma de expropiación, propiciando de esta manera, la pérdida de tierras que originalmente eran de uso agrícola y transformándolas a áreas urbano – industriales (Ávila, 2001). De tal manera, que el cambio de uso de suelo es considerado el principal factor que afecta los procesos y ciclos naturales con la intervención del hombre sobre el medio ambiente (Lambin *et al.*, 1999).

Los procesos de expansión de las zonas urbanas en marcha, son de gran interés para el estudio de la redistribución espacial y temporal de los diferentes usos y coberturas de suelo en el municipio de Cuautlancingo, Puebla. Para detectar estos cambios antropogénicos, se hace necesaria la aplicación de técnicas para medir el grado de conversión de uso territorial a través de una dinámica espacio – temporal de usos de suelo. La teledetección ha demostrado ser un método de alta confiabilidad para proporcionar información espacial precisa. Esta técnica permite conocer las nuevas áreas modificadas en el tiempo como resultado de la intervención del hombre y consecuentemente conocer la distribución (incremento – decremento) de las nuevas áreas productivas o habitacionales (Molina, 1998).

Partiendo de la idea central de que el proceso de transformación física de los usos del suelo agrícola son resultado de un proceso de conurbación marcado por la planeación del crecimiento pero no de un ordenamiento del uso del suelo, se plantea el siguiente objetivo de investigación: Cuantificar pérdidas, ganancias y persistencias de los usos de suelo en el municipio de Cuautlancingo, Puebla en el periodo de 1958 a 2010, que permitan el análisis de la dinámica espacial y temporal del municipio. Para la consecución del análisis geoespacial se definieron tipologías de uso de suelo cuyas características se asemejan al tipo de suelo del área de estudio. Lo anterior permitió cuantificar las pérdidas y ganancias del suelo agrícola, habitacional e industrial.

## 2.4. Materiales y métodos

### 2.4.1 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  $19^{\circ}04'54''$  y  $19^{\circ}09'36''$  de latitud Norte y los meridianos  $98^{\circ}13'18''$  y  $98^{\circ}17'36''$  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 km<sup>2</sup>, que lo ubican en el 191° lugar con respecto a los 217 municipios del estado de Puebla.

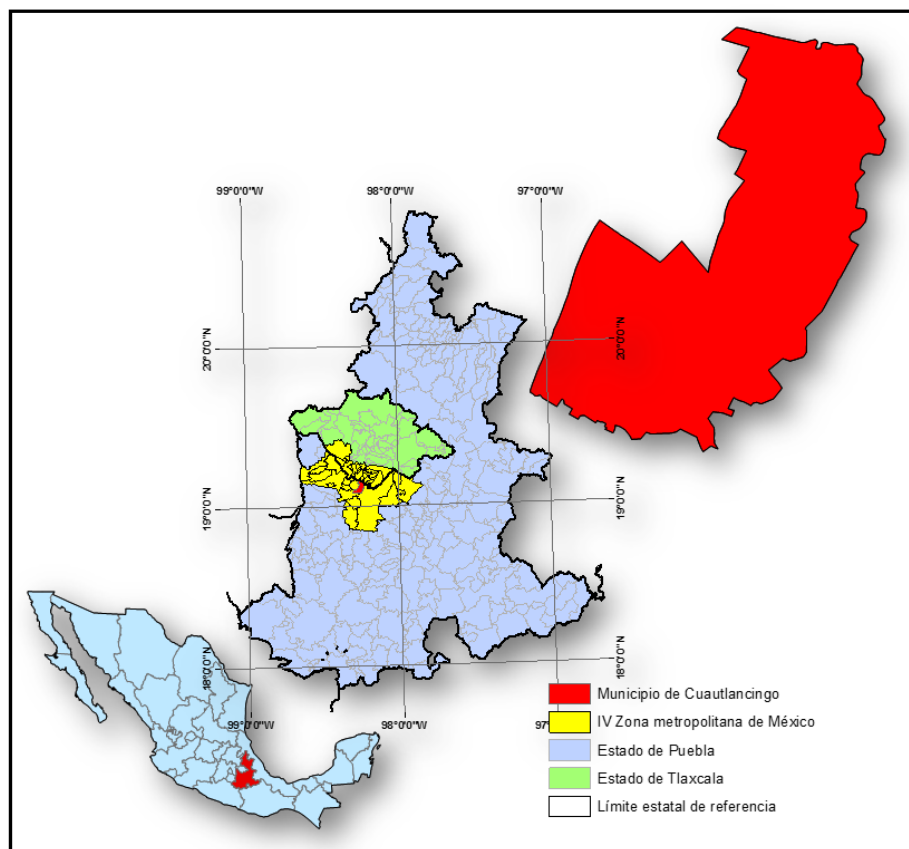


Figura 1. Ubicación del área de estudio

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 su mayor parte del territorio, con ligeros descensos, siendo terrenos pertenecientes al periodo cuaternario, donde los suelos se componen principalmente por cuatro grupos: Arenosol (22%), Phaeozem (7%), Regosol (2%) y Vertisol (2%). Hidrológicamente se ubica en la cuenca alta del río Atoyac, siendo el principal escurrimiento del municipio, presenta un clima subhúmedo ubicado en el valle de Puebla, con lluvias en verano y con una temperatura promedio de 15° C. En cuanto al uso de suelo, este se ocupa principalmente para actividades productivas como la agrícola, la industrial, la habitacional y en menor porcentaje al pastoreo de ganado.

El área de estudio forma parte la zona metropolitana Puebla – Tlaxcala considerada la cuarta zona más importante del país, cuenta con una población de 2'728,790 habitantes y con una tasa de crecimiento anual para el año 2010 de 1.8%. El municipio tuvo una tasa de crecimiento anual para el año 2010 del 5.2% con una población de 79,153 habitantes, siendo uno de los municipios de mayor crecimiento poblacional a nivel nacional (SEDESOL et al., 2012).

#### **2.4.2 Metodología**

Para el análisis del cambio de uso de suelo del Municipio de Cuautlancingo se utilizaron fotografías aéreas o aerofotos multitemporales para su comparación secuencial de 1958 a 2010 procesadas a través de un SIG, los cuales han adquirido gran relevancia en la detección de los cambios de uso de suelo, al ofrecer resultados viables y cuantificables (Chuvieco, 2002; Lira, 2010).

Las fotografías aéreas de 1958, 1966, 1979 y 1984 se digitalizaron y rectificaron con el apoyo de 10 puntos físicos de control en el sistema de coordenadas planas. Posteriormente se conformaron mosaicos de las fotografías aéreas por años. En el caso de las fotografías de 1999

y 2010 se obtuvieron digitalizadas y solo se verificó la georreferenciación (Cuadro 1). Se definieron tipologías de uso de suelo de acuerdo al estudio de Romero (2006), cuyo reconocimiento se realizó en función de sus características en la Figura 2 se presentan los pasos para el análisis de los cambios de uso de suelo partiendo del procesamiento de las aerofotos.

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 d 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		0.6*0.6 m.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del estudio.



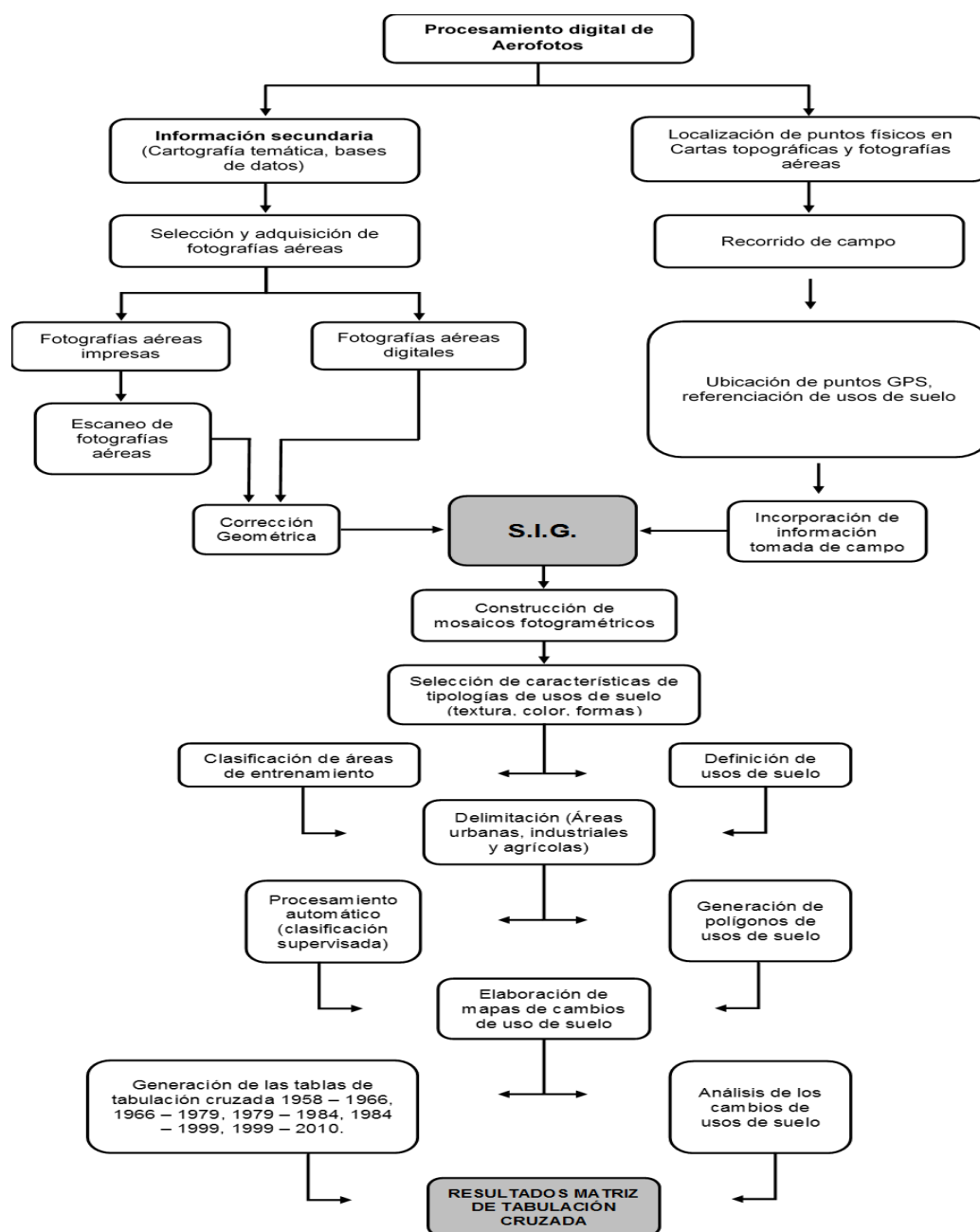


Figura 2. Metodología aplicada para el análisis de las fotografías aéreas y determinación de los cambios de uso de suelo.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del estudio.

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 considerando ganancias, pérdidas, persistencia

e intercambios para conocer las transiciones sistemáticas de los cambios de uso de suelo de 1958 a 2010. El Cuadro 2 representa la matriz de tabulación cruzada, donde la categoría representa las áreas uso de suelo.  $P_{ij}$  es la proporción del paisaje que experimenta una transición de la categoría  $i$  a la categoría  $j$ , el número de las categorías es  $J$ . Los valores de la diagonal indican la persistencia,  $P_{jj}$ , es decir las categorías que no sufrieron cambio alguno o zonas estables. Los valores fuera de la diagonal indican una transición de la categoría  $i$  a una categoría  $j$  distinta.

Cuadro 2. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferente fecha.

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

Fuente: Pontius *et al.*, 2004.

Las filas representan las categorías del tiempo 1(1958) y las columnas las categorías del tiempo 2 (2010). La fila y columna total tiempo (F) representa la nueva área total de la categoría. En la columna Total, la notación  $P_i +$  indica la suma sobre todos los  $j$  de  $P_{ij}$ . En la fila Total, la notación  $P_{+j}$  denota la suma de  $P_{ij}$ . Para calcular ganancias y pérdidas se utilizaron las ecuaciones 1 y 2.

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{jj} \quad (1)$$

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{jj} \quad (2)$$

Donde ( $G_{ij}$ ) 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 ( $L_{ij}$ ) indica 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 El intercambio es el cambio de forma o posición de categorías el cual indica la cantidad de superficie que se ha intercambiado entre categorías y se calcula con el doble del valor mínimo de las ganancias o de las pérdidas. La unidad de ganancia de una categoría que hay en la misma cantidad de pérdida para otra, es decir:

$$S_j = 2 \times \text{MIN} (G_{ij}, L_{ij}) \quad (3)$$

## **2.5.Resultados**

En el estado de Puebla, su área metropolitana es resultado de la evolución del crecimiento y expansión física de su principal centro de población, como consecuencia de la descentralización y de la interacción de la población con las actividades económicas en su periferia. Además implica otras funciones como el acceso a servicios, el comercio, el transporte, las comunicaciones y el establecimiento de la industria, que destaca por su interacción con los principales núcleos de población más cercanos, tal es el caso del municipio de Cuautlancingo (Asuad, 2000).

En el estado de Puebla, el sector industrial ha sido importante debido a su localización geográfica, su topografía y sus recursos naturales. Es por ello que desde el siglo XIX en la región centro del estado se asentó la industria textil, a las orillas de los ríos, mismos que eran utilizados como generadores de energía. De tal manera que la industria textil se pueden considerar como la primera industria en propiciar la transformación del uso de suelo. Otras industrias que destacaron fueron la de los alimentos y bebidas, esto por el número de establecimientos, inversión y valor de la producción (Rosas, 2013).

Otro elemento de gran importancia que contribuyó a la expansión de la ciudad de Puebla en la década de los sesenta, como lo refieren en el modelo policéntrico de la zona metropolitana de Puebla, fue la construcción en 1962 de infraestructura urbana como lo fue la autopista México – Veracruz; así como líneas de ferrocarril, gasoductos y líneas eléctricas de alta tensión. La construcción y modernización de vialidades han sido ejes importantes para la urbanización de la ciudad y los municipios vecinos, favoreciendo el establecimiento de áreas habitacionales a sus costados, incluso la instalación de parques industriales y/o zonas comerciales, dada la

infraestructura existente para su desarrollo. Al mismo tiempo estas vialidades funcionaron como límite del territorio.

Para inicios de la década de 1970 el proceso de industrialización empezó a tomar auge con la llegada de empresas como Volkswagen en Cuautlancingo y la siderúrgica Hojalata y Láminas S.A. (HYLSA) en San Miguel Xoxtla; con estas empresas se inician los procesos de diversificación estructural: industrial y socioeconómica. Además de generar especulación sobre las tierras aledañas a dichas empresas, siendo susceptibles a cambios de usos de suelo para la construcción de unidades habitacionales o industriales (Bernal *et al.*, 2014).

En el caso específico del municipio de Cuautlancingo inicia un proceso de transformación significativa de su territorio a finales de los años cincuenta. Conformado por 34.239 km<sup>2</sup> dedicados principalmente a la agricultura, condición que se modifica a partir de 1958 con la construcción de infraestructura vial, que contribuyó al proceso de conurbación, por la conexión con otros centros de población o el acercamiento a la ciudad, cuya evolución 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 zonas residenciales.

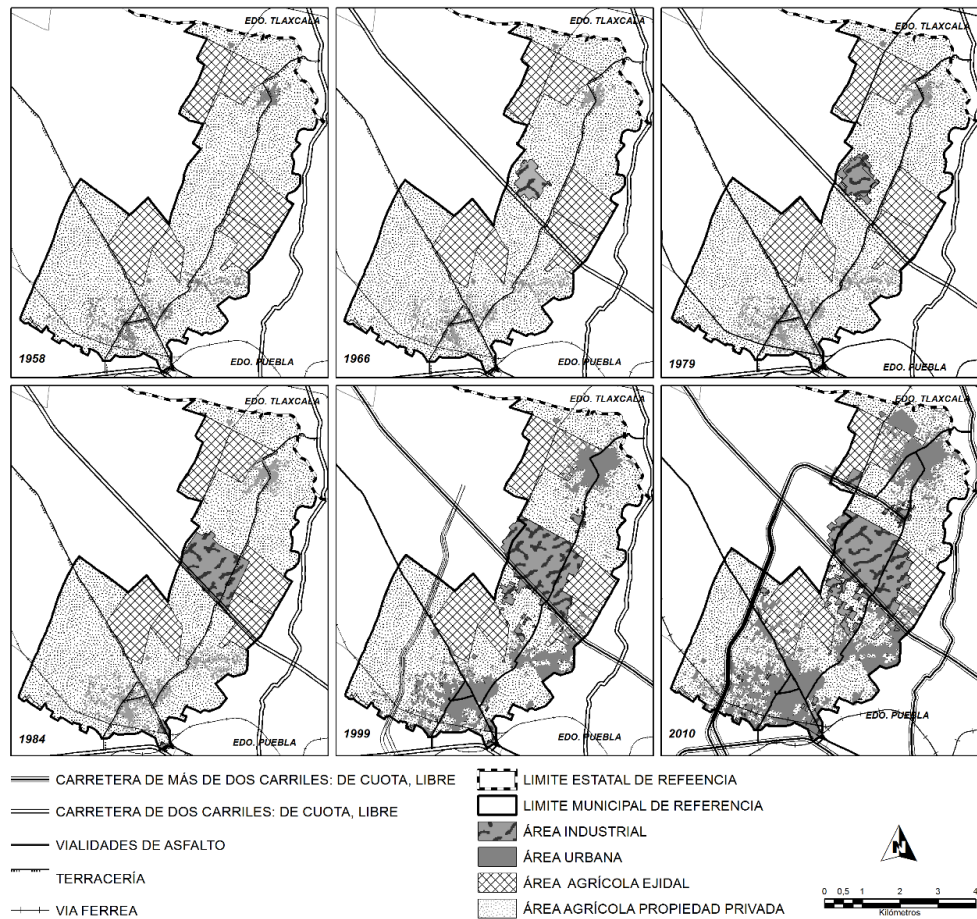


Figura 3. Patrones de expansión y conurbación del municipio de Cuautlancingo, Puebla.  
 Fuente: elaboración propia a partir de información del INEGI y datos de análisis de aerofotos.

La conurbación del municipio de Cuautlancingo con la ciudad de Puebla se aceleró en gran parte por el establecimiento de la zona industrial en su territorio y por la construcción de vías de comunicación, como se mencionó anteriormente, facilitando la expansión de la mancha urbana hacia el poniente. Otro factor que contribuye de manera importante a la urbanización es el establecimiento de la Reserva Atlixcáyotl – Quetzalcóatl, que involucra a los municipios de San Andrés Cholula, San Pedro Cholula y Cuautlancingo. Su propósito fue favorecer la vivienda social y equipamiento urbano social (Rasgado, 2013). De acuerdo los datos del INEGI (2009), esta zona es considerada como una zona potencial de desarrollo socioeconómico, donde las



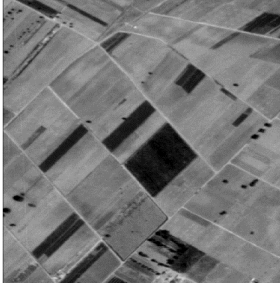
áreas agrícolas se transformaron por la llegada de las zonas habitacionales e industriales, favoreciendo el cambio de usos de suelo y fomentando la especialización terciaria.

Las tierras donde se establecieron las nuevas zonas habitacionales e industriales eran de origen ejidal, teniendo un bajo costo, además los permisos de construcción para que se establecieran empresas transnacionales y al mismo tiempo grandes desarrollos habitacionales, generalmente establecidos de manera desordenada, impulsando de forma acelerada el crecimiento urbano (Cabrera et al., 2008).

#### **2.5.1. Cambios de uso de suelo del municipio de 1958 a 2010.**

Se definieron los usos de suelo mediante cuatro tipologías resultado del proceso de digitalización de áreas, mismas que se pueden observar en el Cuadro 3. Lo anterior permitió analizar los cambios de uso de suelo para cada año de estudio.

Cuadro 3. Tipología de uso de suelo.

Tipo de uso de suelo	Características de identificación	Visualización – imagen
<p><b>Área urbana</b> Superficie construida básicamente para vivienda.</p>	<p>Construcciones aglomeradas de color gris oscuro, se definen entre vialidades.</p>	
<p><b>Área industrial</b> Áreas artificiales, sin vegetación, construcciones antrópicas (fábricas)</p>	<p>Polígonos rectangulares, superficies brillosas, colores blancos, grises claros.</p>	
<p><b>Área agrícola ejidal</b> Extensiones de tierra dedicadas básicamente al cultivo de maíz, frijol, alfalfa, etc.</p>	<p>Por lo general polígonos rectangulares, el color gris puede variar según la época de la toma realizada ya en temporada de sequía o en temporada de lluvia.</p>	
<p><b>Área agrícola propiedad privada</b> Extensiones de tierra dedicadas básicamente al cultivo de maíz, frijol, alfalfa.</p>	<p>Por lo general polígonos rectangulares, el color gris puede variar según la toma realizada en temporada de sequía o lluvia.</p>	

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

El análisis espacial y el análisis comparativo de los cambios, revela como en 1958 el municipio estaba conformado por 33.74 km<sup>2</sup> de superficie agrícola y con 0.49 km<sup>2</sup> de superficie urbana,



evidentemente era un municipio netamente agrícola. Condición que cambió de manera significativa para la década de los ochenta y noventa. En el Cuadro 4, se muestra la superficie ocupada por cada uno de los usos de suelo del municipio de Cuautlancingo y su evolución durante el periodo de estudio. El uso de suelo urbano en 1958, ocupaba 0.498 km<sup>2</sup> que representa el 1.4% respecto del total, alcanzando 7.60 km<sup>2</sup> en 2010, es decir, 22.18%. De 1999 a 2010 el área urbana aumenta 3 km<sup>2</sup>, siendo este periodo el cambio más significativo. El área industrial en el municipio ocupó una superficie de 0.58 km<sup>2</sup> en 1966 representando el 1.69% del total del municipio y para el 2010 alcanzó el 14.9%. En la Figura 4, se puede observar la evolución de usos de suelo, sobre todo en la expansión de la mancha urbana, es decir, el crecimiento urbano del municipio.

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

Categorías	1958		1966		1979		1984		1999		2010	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
Área Agrícola Ejidal	8,004	23,38	8,00	23,38	7,985	23,321	7,66	22,39	6,77	19,79	5,445	15,904
Área Agrícola Propiedad Privada	25,737	75,17	25,09	73,28	24,13	70,477	23,03	67,28	19,409	56,69	16,09	47,007
Área Urbana	0,498	1,46	0,567	1,66	1,305	3,813	1,46	4,28	4,50	13,16	7,597	22,189
Área Industrial	0,00	0,00	0,578	1,69	0,818	2,389	2,075	6,06	3,55	10,37	5,10	14,901
	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.

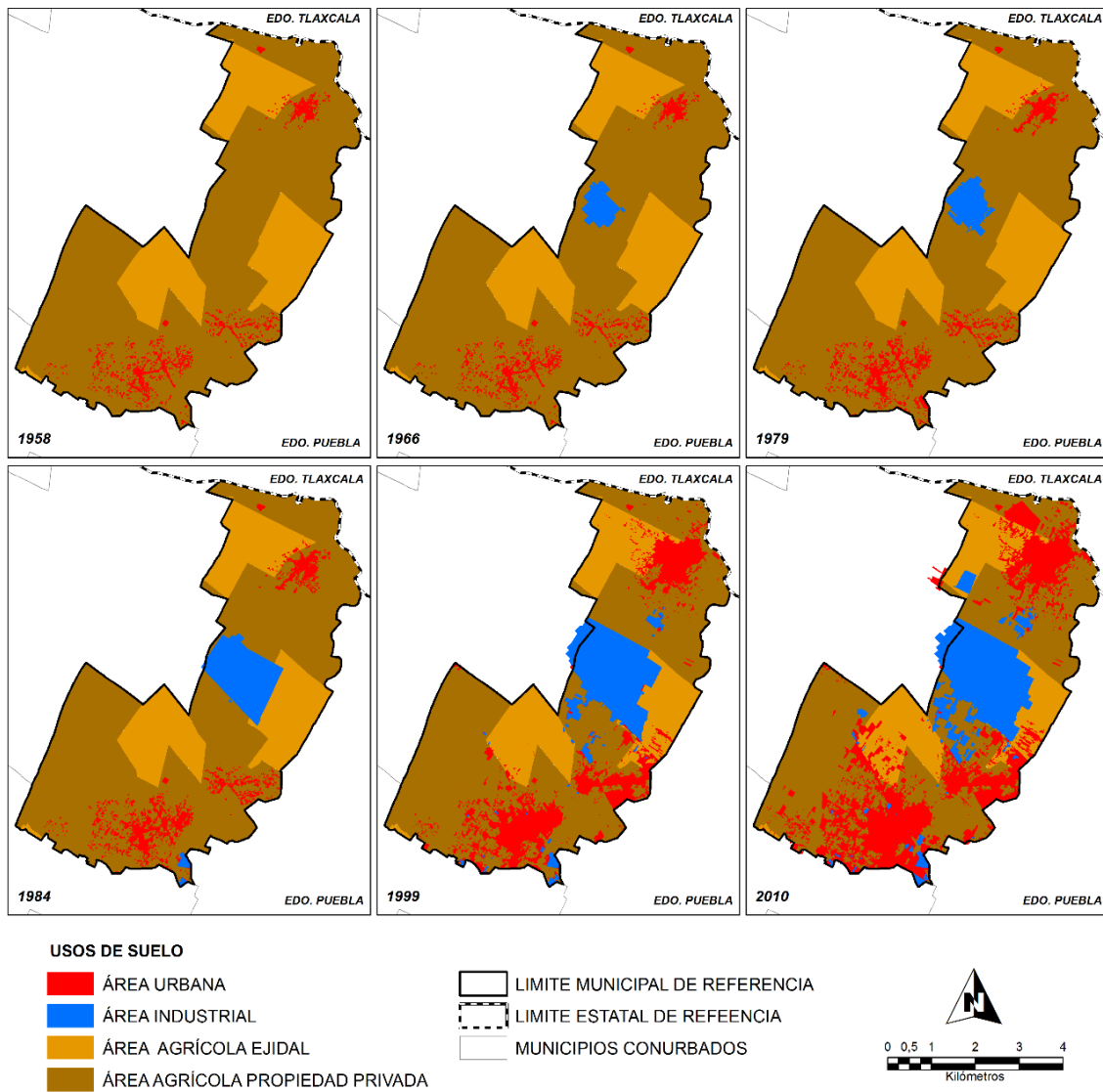


Figura 4. Transformación del uso de suelo del municipio de Cuautlancingo.  
 Fuente: elaboración propia a partir de información de análisis de aerofotos.

Los resultados de la matriz de tabulación cruzada para los años de 1958 a 2010 indican las pérdidas y ganancias de cada categoría, donde el área agrícola de propiedad privada es la que tiene mayores pérdidas y el área urbana mayores ganancias. También se muestra el valor de las persistencias para cada categoría, que están indicadas en la diagonal de la matriz (Cuadro 5). En el Cuadro 6 se observa que no hay intercambios entre categorías; la categoría que tiene mayor cambio neto es la agricultura de propiedad privada.

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	<b>5.46</b>	0.00	1.03	1.51	8.00	2.54
Área agrícola de propiedad privada	0.00	<b>16.10</b>	6.05	3.59	25.74	9.64
Área urbana	0.00	0.00	<b>0.50</b>	0.00	0.50	0.00
Área industrial	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00
Total 2010	5.46	16.10	7.60	5.10	34.26	
<b>Ganancias</b>	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	Cambio 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

Durante el período de análisis se observan dos características en el proceso de cambio de uso de suelo: la primera responde a la pérdida de áreas agrícolas, muchas zonas cercanas ya no se siembran cuyos principales cultivos eran maíz, frijol, alfalfa verde, avena forrajera y chile verde (INEGI, 2012) y la segunda, al crecimiento de áreas de uso industrial y habitacional, a través de la sustitución de suelos agrícolas.

En términos generales, se puede observar en la Figura 5, la dinámica de la transformación de superficies de uso de suelo de 1958 a 2010. El 37% la superficie total del municipio se ha transformado o ha tenido algún tipo de cambio de usos de suelo. Es importante destacar que ni

+la superficie industrial o la urbana en ningún momento presentan pérdidas o intercambios de uso de suelo con las otras categorías establecidas en este trabajo.

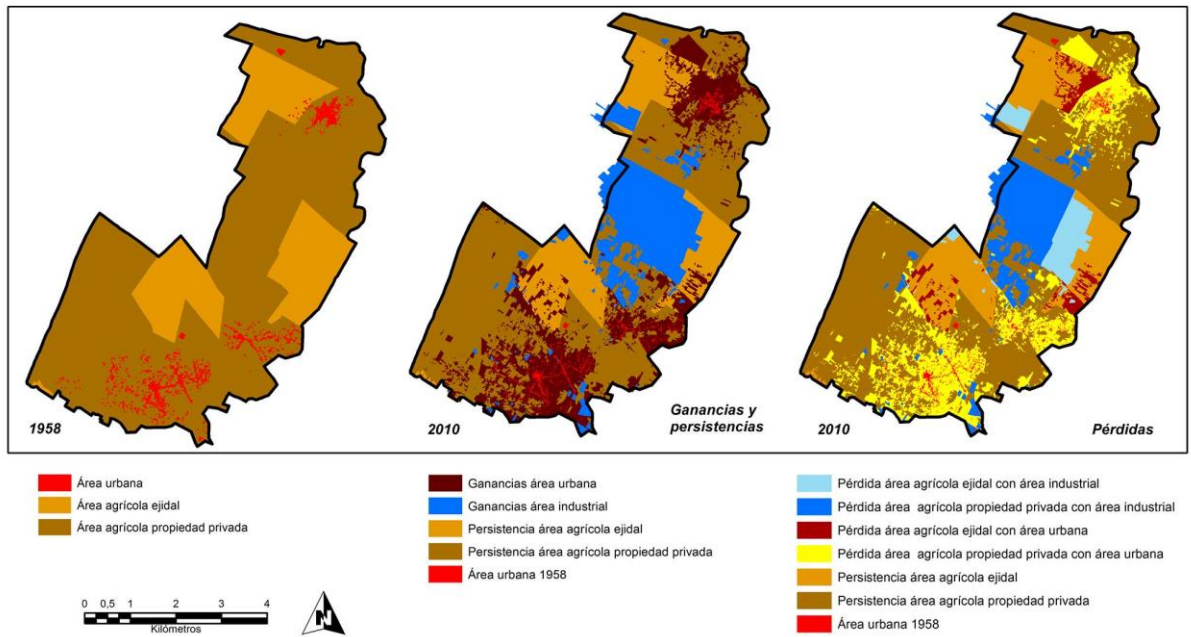


Figura 5. Pérdidas, ganancias y persistencias de las categorías de suelo de 1958 a 2010 del municipio de Cuautlancingo, Puebla.  
Fuente: elaboración propia.

## 2.6. DISCUSIÓN

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

Por otra parte, la ubicación geográfica del municipio de Cuautlancingo dentro de la cuarta zona metropolitana más importante del país (SEDESOL *et al.*, 2012), derivado de las políticas de globalización, avances científicos y tecnológicos, han transformado y hecho más eficientes los procesos productivos, los transportes y las comunicaciones, alterando los patrones de movilidad de la población (Figura 6), tal y como lo reafirma Sobrino (2003). Los componentes demográficos en términos de población determinan la conformación espacial, por ejemplo: movimientos intrametropolitanos, mercado de trabajo (perfil económico y empleo) y ubicación sectorial en el territorio.

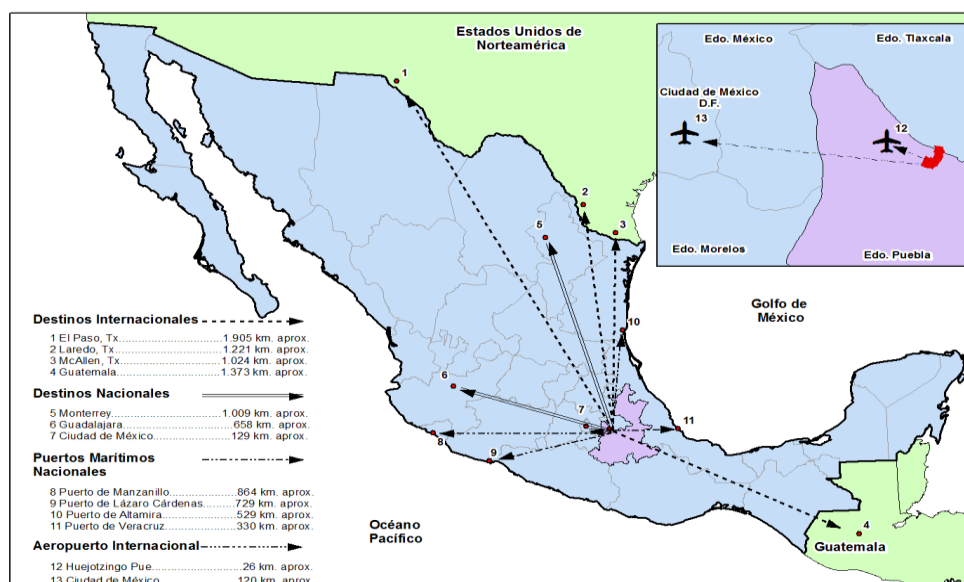


Figura 6. Transportes y comunicación del municipio de Cuautlancingo Pue. Fuente: elaboración propia a partir de información del INEGI.

La falta de planeación territorial, aunado al acelerado crecimiento urbano, demográfico e industrial del municipio de Cuautlancingo han generado cambios de uso de suelo irreversible, teniendo tasas de crecimiento cada vez mayores, donde la expansión de la mancha urbana ha propiciado cambios de usos de suelo (Henríquez *et al.*, 2006), y como consecuencia ha remplazado progresivamente áreas destinadas originalmente al uso agrícola.

Los cambios de uso de suelo con mayor trascendencia se generaron a partir de la década de 1970, impulsada por su patrón de crecimiento horizontal en materia de regulación urbana. La última década presentó un crecimiento de más del 50% en área urbana construida. Durante la década de 1990 al 2000 se duplicó el área industrial, propiciado por las políticas aplicadas del estado de Puebla para un desarrollo industrial en el municipio de Cuautlancingo.

La progresiva expansión territorial del área urbana del municipio de Cuautlancingo, identificada y registrada en este trabajo de investigación tal y como lo señala De Mattos (2001), con características de crecimiento metropolitano en esta etapa económica capitalista, donde se pierden los límites urbanos, se encuentra en pleno auge. Con ello se manifiesta un proceso de concentración de la población por actividades en las crecientes áreas metropolitanas, junto con la globalización e internacionalización de mercados y el mejoramiento de medios de comunicación, han significado profundas transformaciones en los territorios en disímiles escalas geográficas (Ávila 2008).

Los patrones de expansión urbana, juegan un papel importante en el desarrollo del municipio de Cuautlancingo como lo señala Molina y Romero (2007), donde el crecimiento radial o de adherencia crece a partir de un centro hacia sus alrededores, aglutinando nuevas áreas urbanas sobre la periferia de la ciudad, siendo el caso de la ciudad de Puebla donde va absorbiendo los

municipios conurbados así aprovechando las economías de aglomeración y extendiendo espacios sociales (Kaya y Curran, 2006)

Además del crecimiento tentacular el cual es asociado a las redes de transporte y a la conectividad vial que ejerce papel fundamental en la definición del crecimiento urbano a lo largo de estas vías comunicación, aprovechando la accesibilidad y conectividad. Por último el crecimiento “salto de rana” que es definido como un crecimiento urbano que se da en la periferia, de manera discontinua, donde se configuran parches urbanos a distancias cada vez mayores del centro (Bellet *et al.*, 2015). En el caso del municipio se refleja con la construcción de naves industriales fuera del área urbana debido a intereses por el aprovechamiento y explotación de los recursos del área donde se establecen. Este patrón relacionado por lo general con quien puede pagar largas distancias o bien entre quienes ocupan ilegalmente las tierras más baratas y alejadas de los centro urbanos, este último patrón ha adquirido una gran importancia como lo menciona Hidalgo *et al.* (2007).

Es de vital importancia contar con un plan estratégico de ordenamiento territorial, para la integración de los nuevos usos de suelo con los ya establecidos y minimizar las afectaciones ante el inminente crecimiento de la zona urbana, el desarrollo industrial y la demanda de grandes extensiones de tierra que continuarán transformando el uso de suelo del municipio (Rossiter, 2007).

Con el desarrollo de esta investigación se ratifica la ocupación de nueva urbanización industrial – habitacional, se observa que los patrones de remplazo de los usos agrícolas del suelo se ven agudizados por la falta de planeación territorial, por lo que este fenómeno de cambios de uso de suelo repercuten en un recrudecimiento del problema ya que los patrones de remplazo indican

que la urbanización sustituirá las áreas agrícolas restantes y se agudizará la explotación de los recursos naturales de la zona.

Por último, los cambios de usos de suelo indican la necesidad de dimensionar a futuro la magnitud, la localización y los factores de expansión de las nuevas zonas urbanas, que permitan hacer una mejor planeación urbana. Considerando que diversos estudios demuestran que las áreas persistentes son las que predominan y estas son generalmente son las zonas urbanas (Yan y Lo, 2002).



## 2.7. Conclusiones

La investigación realizada evidencia una constante transformación de usos de suelo agrícola, generados por la instalación de área industrial y el crecimiento de zonas urbanas, alcanzando diferentes tasas de crecimiento. Aunado a ello, la conurbación y absorción de los municipios circunvecinos a la Ciudad de Puebla han sido otra de las constantes en la transformación del suelo del municipio.

La construcción y modernización de las vialidades como la autopista México- Veracruz, el Anillo Periférico y carreteras intermunicipales contribuyeron de manera importante al establecimiento de nuevas unidades habitacionales y 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 y con ella una número importante de proveedoras que incrementaron la demanda de espacios, infraestructura y servicios públicos, aunado al establecimiento de zonas habitacionales destinadas para sus trabajadores, destacándola por su potencial económico, no solo para el municipio bajo estudio, sino también para el estado de Puebla.

El uso de los SIG y la metodología de Pontius *et al.* 2004, permitió cuantificar y visualizar los cambios de uso de suelo y conocer la tendencia en la dinámica espacial en la zona de estudio, entendiendo la interacción entre las categorías de uso. Sin embargo, para un estudio más detallado se requiere de la intervención de otras variables socioeconómicas y ambientales que permitan tener un panorama más exacto del proceso de expansión urbana y los factores que contribuyen a dichos cambios para tomar decisiones al corto, mediano y largo plazo.

El cambio de uso de suelo agrícola a urbano predomina, hay un fuerte proceso de reemplazo irreversible de áreas de cultivo ya sea para uso habitacional o industrial que denota la tendencia

a la urbanización del municipio y la pérdida de zonas destinadas a la agricultura; en general hay una mayor tendencia a obtener ganancias en el uso urbano y mayor permanencia.

## 2.8. Referencias citadas

- Asuad S., N. E. (2000). Programa metropolitano de integración norte, oriente y poniente de la ciudad de Puebla. Documento de integración de los estudios de los programas metropolitanos.
- 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, UNAM Núm. 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 Vol. XII, núm. 270 (17).
- Bellet, C., Melazzo, E.S., Sposito, M. E. y Llop, J.M. (2015) Urbanización, producción y consumo en ciudades medias / intermedias, Universidade Estadual Paulista Presidente Prudente.
- Bernal-Mendoza, H., Ramírez-Juárez, J., Estrella-Chulím, N., Pérez-Avilés, R., y Morett-Sánchez, J. L. (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).
- Cabrera B., V., Guerrero, J. M. y Nava R., R. (2008). La política de suelo en Puebla. Fuente de segregación socioespacial y riqueza selectiva. Ed. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.[<http://www.rii.sei.ba.gov.br/anais/g2/la%20politica%20de%20suelo%20en%20puebla%20la%20fuente%20de%20segregacion%20socioespacial%20y%20riqueza%20selectiva.pdf> 5 de abril de 2015]
- 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. (2002), Teledetección Espacial. La observación de la Tierra desde el espacio.
- De Mattos, C. A. (2001). Movimientos del capital y expansión metropolitana en las economías emergentes latinoamericanas. Revista de estudios regionales, (60), 15-44.

- Heilig, G. K. (2012). World urbanization prospects: the 2011 revision. United Nations, Department of Economic and Social Affairs (DESA), Population Division, Population Estimates and Projections Section, New York.
- Henríquez, C., Azócar, G. 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*. Vol. XXXIX. Tercera época. N° 151. España. pp. 115-135.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cuautlancingo, Puebla. [<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21041.pdf>: 20 de mayo de 2015]
- INEGI, (2012). Sistema municipal de base de datos. [<http://sc.inegi.org.mx/cobdem/filtroContenidosServlet>: 13 de mayo de 2015]
- 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.
- 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 implementation strategy. Scientific steering committee and international project.
- Lira, J. (2010). Tratamiento digital de imágenes multiespectrales. UNAM (Electronic Book: [www.lulu.com](http://www.lulu.com)). Links 11 de julio de 2014].
- Molina, M. (1998). Análisis de calidad ambiental de vida para la Ciudad de Maracay, Venezuela usando la Teledetección y los SIG. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Alcalá. Doctorado.

- 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. *Anales Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*. (Enviada).
- Molina, M. (2007). Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área metropolitana de Santiago sobre la generación y comportamiento de micro islas de calor. Memoria para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, 119 págs.
- Pontius, R. G. Jr., Shusas, E. and McEachern., M. (2004), “Detecting important categorical land changes while accounting for persistence”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, no. 101, pp. 251–268.
- 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 Atlixcáyotl. Tesis de Maestría, Universidad Iberoamericana Puebla.
- Romero A., 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. Disponible en <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/118048>.
- 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 (5 pp). *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*, (12), 13.
- SEDESOL, CONAPO e INEGI (2012). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010.
- Sobrino, J. (2003). Delimitación de las zonas metropolitanas de México en 2000 en Consejo Nacional de Población (coord.) La delimitación de zonas metropolitanas, México, CONAPO / SEDESOL / INEGI / Instituto de Geografía-UNAM, pp. 121-151.

- 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 C. Lo (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*, no. 23(9), pp. 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). Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública.

## **CAPITULO III. POBLACIÓN, CAMBIO DE USO DE SUELO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA: EL DESAFÍO ACTUAL**

### **3.1. Resumen**

El uso de los recursos naturales para satisfacer las necesidades de origen antropogénico es una constante en el proceso de desarrollo de las sociedades, conduciendo a una transformación significativa de su entorno natural, entre los que destaca el suelo y el agua. La urbanización y el crecimiento de las ciudades son factores de transformación del uso del suelo y del incremento en el uso del agua. El municipio de Cuautlancingo, Puebla, ha sufrido estas severas transformaciones por la conurbación de la Zona Metropolitana Puebla – Tlaxcala, el incremento en la oferta de vivienda, mayor infraestructura vial y la llegada de la industria. La presente investigación tiene como objetivo el análisis de la dinámica de cambio de uso de suelo generada por el crecimiento urbano y su relación con el uso de agua en el municipio de Cuautlancingo en el periodo de 2000 a 2015. Se realizó una clasificación supervisada con Sistemas de Información Geográfica para determinar áreas de los distintos usos de suelo y obtener tasas de cambios. En lo que respecta al uso del agua, se determinó la dotación de agua por habitante de acuerdo al aforo de los pozos y a la población cubierta con el servicio de agua potable. Los resultados evidencian el cambio de uso de suelo urbano e industrial que pasó de 8.29 km<sup>2</sup> en el 2000 a 16.945 km<sup>2</sup> en el 2015, mientras que el volumen de agua para uso urbano se incrementó un 80% durante el mismo periodo. Por otra parte, la dotación de agua potable a la población disminuyó de 17.37 lts/seg/hab a 7.23 lts/seg/hab.

Palabras clave: Conurbación, crecimiento demográfico, dotación de agua, disponibilidad.

### **3.2. Abstract**

The natural resources used to satisfy the needs of anthropogenic origin, are a constant in society's development process, leading to a significant transformation of its natural environment, soil and water, principally. The urbanization and the growth are transformation factors and increase on use and of land and demand of these resources. The Cuautlancingo municipality Puebla, has suffered severe transformations because of the conurbation of the Puebla – Tlaxcala Metropolitan Zone, an increase in housing offer, major road infrastructure and the industry arrival are some of these transformations. This research has the objective to analysis the soil-use changes dynamics generated by the urban growth and the relation with the water use in Cuautlancingo from 2000 to 2015. A supervised classification was conducted a with Geographic Systems information in order to determine areas of different soil uses and to obtain rates of change. In regards to water use, the water supply was determined per habitant according to the capacity of the wells and a population covered with drinking water access. The results shows the change of use of urban and industrial soil from 8.29 km<sup>2</sup> in 2000 to 16.945 km<sup>2</sup> in 2015, while the water use volume for urban areas increased 80 % during the same time. Moreover, the provision of drinkable water to the population, decreased from 17.37 liters/sec/inhabitant to 7.23 liters/sec/inhabitant.

**Key words:** Conurbation, demographic growth, water supply, availability.



### 3.3. Introducción

En México, el crecimiento demográfico ha generado un patrón espacial representado por la expansión de las zonas urbanas y los procesos de conurbación de las ciudades, cuyos límites se extienden a las poblaciones aledañas desplazando a las zonas rurales. A partir de la década de 1970, México pasó de ser un país mayormente rural a uno urbano, la población urbana pasó de un 58% a un 77% en el año 2010 (Bonilla *et al*; 2012; INEGI, 2010).

Si bien la urbanización apunta hacia la concentración de la población en ciudades de carácter metropolitano, entendiéndolo como un proceso de conurbación definido por la unidad física entre dos o más localidades o municipios (Negrete, 2000; Diario Oficial, 2002; Sobrino, 2003); o de acuerdo con la Ley General de Asentamientos Humanos, la conurbación es la continuidad física y demográfica que formen o tiendan a formar dos o más centros de población que mantienen su relación dada su continuidad urbana, sin dejar de considerar otros procesos de gran envergadura, como el incremento en la demanda de servicios, cambios de uso de suelo y la modificación de los ecosistemas naturales.

En este contexto, Weber y Puissant (2003), señalan que la urbanización es un proceso territorial y socioeconómico que induce a una transformación radical de la cobertura y del uso del suelo, el cual se encontraba ocupado en general por paisajes naturales o estaba dedicado a actividades agropecuarias. Pero además de ser un factor de transformación, implica el incremento en la demanda de suelo para satisfacer necesidades de mayor espacio habitacional, mayor infraestructura, industria, desplazamiento de las zonas agrícolas, todo ello alterando la cubierta vegetal.

No se debe dejar de lado que la expansión física de las ciudades tiene impactos significativos en el medio ambiente por la explotación de los recursos, en particular del agua, incrementándose

de manera significativa su demanda. El aprovechamiento de agua en algunas ciudades tiene efectos drásticos como el agotamiento de los acuíferos, un ejemplo de ello es lo que sucede en la ciudad de México, que ha llevado a la escasez del agua (Herold *et al.*, 2003; Breña y Naranjo, 2009).

Además, el agua es un recurso determinante para el crecimiento y desarrollo económico en áreas urbanas de regiones en desarrollo. Sin embargo, como señalan Díaz *et al.* (2014), la transferencia de agua a las ciudades puede tener efectos considerables en el uso y cobertura de suelo que rodea a los sitios de extracción de agua, al otorgar prioridad al uso urbano, se transfiere el agua agrícola a la ciudad y se abandonan las tierras de cultivo o se deterioran las áreas con cobertura vegetal natural.

Resultado de esta transición, tanto el cambio de uso de suelo como el consiguiente crecimiento urbano han hecho que disminuya la disponibilidad natural media de agua. En el caso de México la disponibilidad de agua en 1950 fue de 17,742 m<sup>3</sup> por habitante, para el año 2000 de 4,427 m<sup>3</sup> y se espera que para el 2030 se reduzca a 3,783 m<sup>3</sup> (CONAGUA, 2008). Esta tendencia se agudiza en las zonas más urbanizadas del país donde la disponibilidad es de 1,734 m<sup>3</sup> (Salazar y Pineda, 2010). El crecimiento de la población urbana se ha traducido en nuevos asentamientos humanos, ciudades y por consiguiente, en un acelerado crecimiento de la demanda de servicios, en particular de los servicios urbanos de agua potable, generando escasez de agua y coberturas irregulares (López y Montalvo, 2015).

La interacción entre usos de suelo y los usos del agua es un tema crítico para la sustentabilidad urbana, ya que la transferencia de agua para uso urbano produce severas alteraciones al medio ambiente. La presente investigación tiene como objetivo analizar la dinámica de cambio de uso de suelo generada por el crecimiento urbano, y su relación con el uso de agua en el municipio

de Cuautlancingo, Puebla en el periodo comprendido del 2000 al 2015. Para ello, se determinaron tasas de cambio de uso de suelo a partir del procesamiento digital de imágenes LandSat. Además se determinó la dotación de agua potable del municipio utilizando datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Cuautlancingo (SOSAPAC), de la Dirección del Parque Recreativo el Ameyal y del Catastro Municipal.

### 3.4. Materiales y métodos

#### 3.4.1. Área de estudio

El municipio de Cuautlancingo cuenta con una superficie de 34.239 km<sup>2</sup>, contando en el año 2015 con una población de 112,225 habitantes (INEGI, 2015). Siendo uno de los municipios de mayor crecimiento poblacional a nivel nacional. Está ubicado en el centro oeste del estado de Puebla, entre 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).

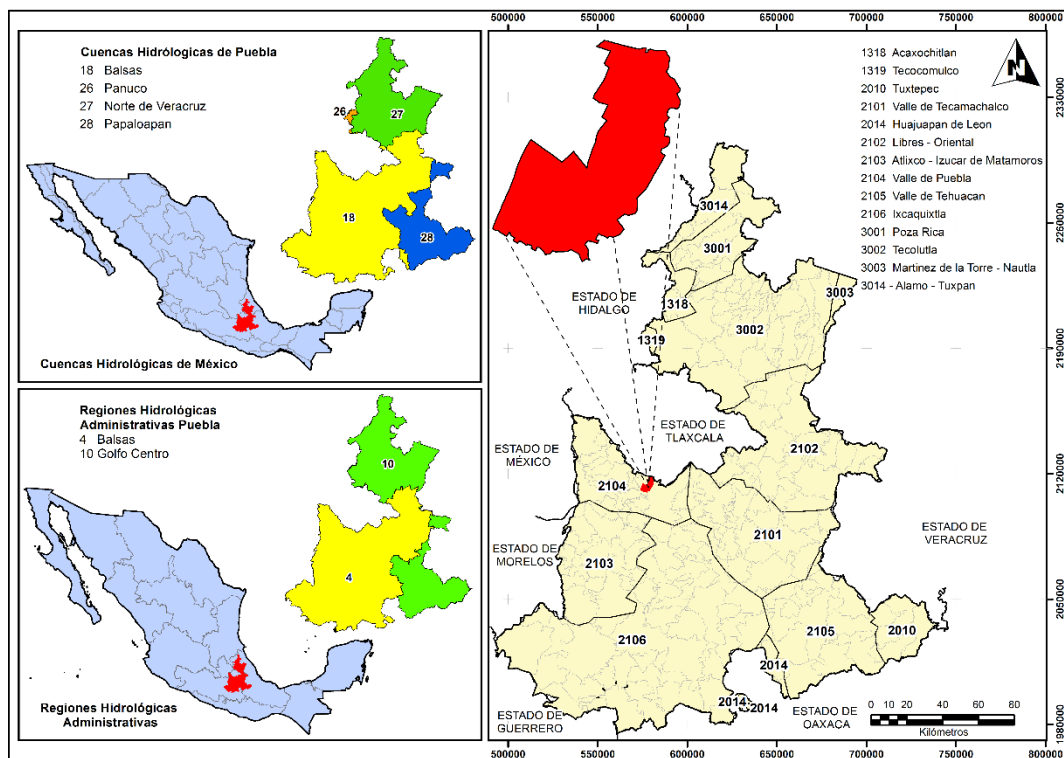


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Fuente: elaboración propia con información de CONABIO, INEGI, INE y CONAGUA.

El municipio presenta una superficie plana en su mayor parte del territorio, con ligeros descensos, siendo terrenos pertenecientes al periodo Cuaternario, donde los suelos se componen principalmente por cuatro grupos: Arenosol (22%), Phaeozem (7%), Regosol (2%) y Vertisol (2%). El principal uso del suelo es urbano, seguido de agrícola e industrial. En menor porcentaje se localizan pastizales en las laderas del río Atoyac. (INEGI, 2009).

Hidrológicamente, el municipio pertenece al acuífero del Valle de Puebla ubicado en la cuenca hidrológica del Alto Atoyac (principal escurrimiento del municipio), perteneciente a la Región Hidrológica del Balsas. Su clima es subhúmedo con lluvias en verano con una precipitación que oscila entre 800 y 1,000 mm, la temperatura media anual es de 15° C (INEGI, 2009).

El municipio de Cuautlancingo se encuentra ubicado dentro de la zona metropolitana Puebla – Tlaxcala considerada la cuarta zona más importante del país (SEDESOL *et al.*, 2012). Situación que condiciona sus características socioeconómicas del municipio, reflejando el cambio de lo rural a lo urbano. La población económicamente activa se concentra principalmente en el sector secundario con 57.3% donde destaca la producción de automóviles, que ocupó, en el año 2009, el segundo lugar en la producción bruta total con 35.5% y en activos fijos con 15.1%. A diferencia del sector primario que sólo ocupa el 6.7 %, el sector terciario 32.4% (INEGI, 2009).

### **3.4.2. Metodología**

El estudio se fundamenta en la relación existente entre el crecimiento urbano y el uso del agua propiciados por un proceso de conurbación del municipio de Cuautlancingo y la Ciudad de Puebla. Se identificaron los actores clave en el uso y manejo del agua como: el Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Cuautlancingo, el Catastro Municipal de Cuautlancingo, el Parque Recreativo “El Ameyal” y los usuarios, con el fin de obtener

información de fuentes primarias que auxiliaran a explicar las condiciones actuales de cobertura y administración de agua potable en el municipio y los mecanismos para la dotación del servicio.

El cambio de uso de suelo se determinó mediante el procesamiento y análisis de imágenes LandSat (Path 25 – Row 47) con una resolución de 30 metros. Se utilizaron imágenes LandSat 7 del 6 de septiembre del 2000 y del 2 de septiembre del 2010. Para el año 2015 se utilizó una LandSat 8 con fecha 23 de agosto. Se decidió por este tipo de imágenes al ser comprobada su efectividad en la aplicación de estudios de crecimiento urbano (Yuan *et al.*, 2005; Tan *et al.*, 2005; Guindon *et al.*, 2004), además de su nivel de procesamiento que incluye correcciones radiométricas, geométricas y topográficas.

Para realizar la clasificación supervisada en las imágenes, se seleccionaron áreas representativas de cada superficie del suelo para obtener su uso, para ello se le asignó un valor que representa los patrones de los tipos de áreas de suelo y que se identificaron en campo. Con este tipo de clasificación se indican las áreas prioritarias temáticas a digitalizar.

El procedimiento que se utilizó fue el siguiente: selección y edición, donde se identificaron píxeles similares y representativos de las áreas de entrenamiento asignándoles una firma espectral determinada y calculando sus áreas con apoyos de campo. Posteriormente se realizó la evaluación de las categorías o firmas espectrales, donde una vez definidas y antes de realizar el procesamiento de clasificación, se evaluó la viabilidad de las categorías para su clasificación. Por último se realizó la clasificación supervisada de las imágenes satelitales, donde el algoritmo de clasificación empleado fue del tipo paramétrico. Teniendo un 95 % de confiabilidad de la clasificación de la imagen, con un error de  $\pm 5$  % realizando la clasificación supervisada mediante Sistemas de Información Geográfica.

Para determinar la tasa de cambio anual del uso de suelo se utilizó la ecuación (1) recomendada por el INEGI (2016) para expresar el cambio en porcentaje de la superficie al inicio, a fin de permitir evidenciar la transición de los usos de suelo en el periodo indicado.

$$r = \left[ \left( \frac{P_x}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] * 100 \quad (1)$$

Donde:

- r = Tasa de crecimiento
- PX = Población en el año x (final)
- P0 = Población en el año 0 (inicial)
- t = Tiempo transcurrido entre el momento de referencia de la población inicial y la población final.

Para determinar la disponibilidad de agua subterránea del municipio se utilizó la base de datos del REPDA de la Comisión Nacional del Agua, identificando pozos y volúmenes concesionados. Estos datos se procesaron en un SIG para su localización geográfica. Además se obtuvieron datos de dotación de agua por vivienda y volúmenes de extracción de los pozos concesionados por el SOSAPAC y por los Comités de Agua de Juntas Auxiliares.

Se realizó un recorrido en campo que permitió ubicar las fuentes de agua superficiales (manantiales) y verificar y corroborar la ubicación de los pozos. Además de localizar e identificar a informantes clave.

Para identificar la problemática en la gestión del agua potable por parte de las instituciones encargadas de dotar de agua a la población, se realizaron entrevistas a los encargados de CONAGUA, del CATASTRO, de los Comités de Agua Potable y del SOSAPAC. Se aplicaron entrevistas semi-estructuradas dada la flexibilidad al realizar preguntas abiertas. El guion de entrevista se enfocó en la cobertura del servicio de agua potable en las viviendas, dotación por vivienda, disponibilidad de agua en el municipio e identificación de principales problemas para la administración.

Para conocer la percepción de la población sobre el servicio y la dotación que reciben de agua potable en sus hogares se levantó una encuesta a 130 hogares, determinados mediante un muestreo aleatorio simple, utilizando la ecuación (2):

$$n = \frac{N Z_{\alpha/2}^2 S_n^2}{N d^2 + Z_{\alpha/2}^2 S_n^2} \quad \text{Donde:} \quad (2)$$

N	= Tamaño de población.....	112225
d	= Precisión.....	0.32
$Z_{\alpha/2}$	= Confiabilidad. Valor de Z (distribución normal estándar).....	1.96
$S_n^2$	= Varianza.....	3.16

Fuente: Gómez 1979



### 3.5. Resultados y discusión

#### 3.5.1. Cambio de uso de suelo y crecimiento urbano

El crecimiento de la población en el municipio de Cuautlancingo se generó a partir de un proceso de conurbación con la ciudad de Puebla, además del establecimiento de importantes industrias del sector automotriz que trajeron consigo un incremento de las áreas urbanas. El municipio es uno de los de mayor crecimiento poblacional a nivel nacional, con una tasa de crecimiento promedio anual del 5.2 del 2000 al 2010, y de 7.2 del 2010 a 2015; con una densidad de población para el 2010 de 2,074 hab/km (INEGI, 2011) (Cuadro 1). Lo anterior generó un cambio importante en la dinámica del uso del suelo, la demanda de agua potable y el agotamiento de fuentes superficiales de agua.

Cuadro 1. Población rural y urbana del Municipio de Cuautlancingo, Puebla.

Año	Población Total	Población Urbana	Población Rural
2000	46729	44158	2571
2010	79153	73049	6104
2015	112225	N/D	N/D

Nota: N/D Información no disponible

Fuente: elaboración propia con información de INEGI 2000 y 2010.

El análisis de la expansión de la zona urbana del municipio de Cuautlancingo del 2000 al 2015 se realizó a través de los cambios de uso de suelo agrícola a urbano e industrial con el procesamiento de imágenes Landsat que se pueden observar en la Figura 2. En el año 2000 el área urbana fue de 4.61 km<sup>2</sup>, se expandió a 7.597 km<sup>2</sup> en 2010 con una tasa de cambio de 5.1% y para el 2015 se incrementó a 11.465 km<sup>2</sup>, con una tasa de cambio de 8.5%. La superficie de uso industrial en 2000 fue de 3.68 km<sup>2</sup>, en el 2010 se incrementó en 5.1 km<sup>2</sup> con una tasa de cambio de 3.3%, para 2015 alcanzó 5.48 km<sup>2</sup> con una tasa de cambio de 1.44%.

Por el contrario, la dinámica del cambio de uso de suelo agrícola registró pérdidas, en el 2000 contaba con 25.93 km<sup>2</sup>, en el 2010 disminuyó a 21.54 km<sup>2</sup> con una tasa de cambio de -1.8% y finalmente en el 2015 se tuvieron 17.28 km<sup>2</sup> con una tasa de cambio de 4.3%. Sin embargo, la población rural se incrementó de 2,571 a 6,104 habitantes. Es importante aclarar que esta población incluye población dedicada a actividades productivas en las zonas rurales y no únicamente ocupada en actividades agrícolas.

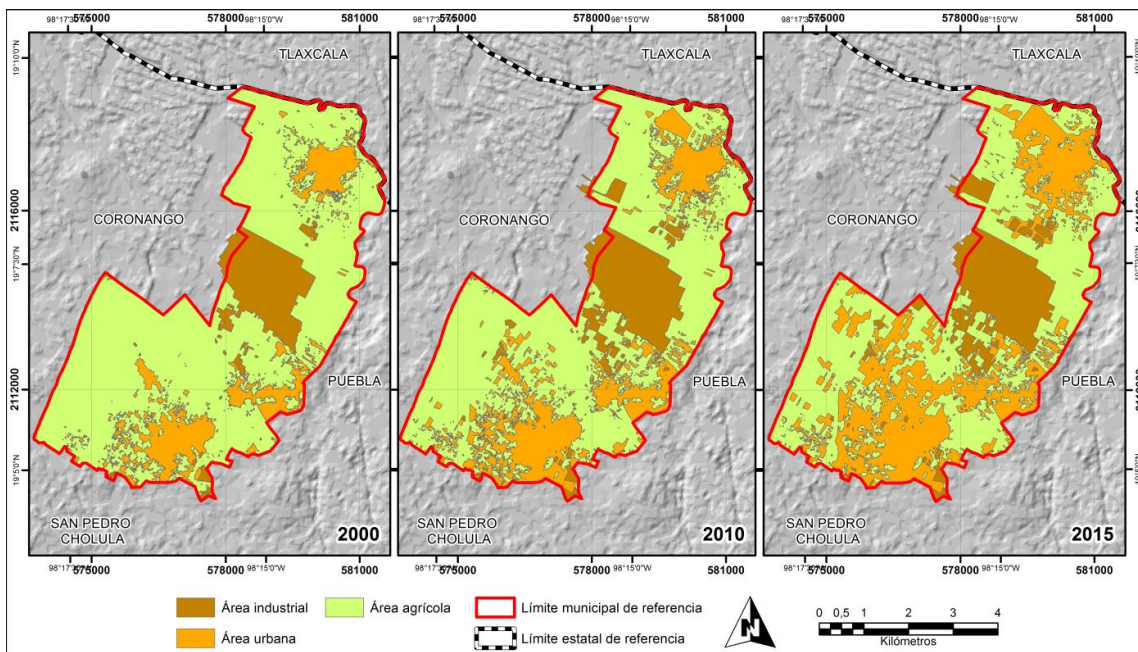


Figura 2. Crecimiento urbano y dinámica de cambios de uso de suelo del Municipio de Cuautlancingo, Puebla del 2000 al 2015.

Fuente: elaboración propia a partir del procesamiento de imágenes LandSat 7 y 8.

### **3.5.2. Relación entre uso de suelo y abastecimiento de agua potable en Cuautlancingo**

El uso del suelo y los recursos hídricos están estrechamente relacionados. La superficie terrestre ofrece una zona de captación natural que determina la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas, proporcionando agua para la población, la industria y la agricultura (Weatherhead y Howden, 2009). Sin embargo, esta relación es compleja dadas las condiciones topográficas y climáticas en las distintas áreas donde la disponibilidad de agua y su variación espacial y temporal es crucial en esta interacción.

La relación entre el cambio de uso de suelo y el aprovechamiento de los recursos hídricos en el municipio de Cuautlancingo, se analizó a partir del proceso de conurbación con la ciudad de Puebla que presentó, a partir de la mitad del siglo XX, un rápido crecimiento industrial, demográfico y urbano principalmente en la franja norte de la ciudad, impactada por un acelerado crecimiento de la infraestructura urbana producto del establecimiento de zonas industriales y la construcción de la autopista México - Puebla, además de la perforación masiva de pozos profundos que constituyeron uno de los problemas ambientales más graves al modificar los espacios geográficos relacionados con el sistema hídrico (superficial y subterráneo) (Hernández, 2015).

Al respecto los encargados del Comité de Agua potable refieren:

*“Antes había mucha agua, había manantiales, en las casas algunos tenían pozos de pocos metros de profundidad, el río pasaba limpio, pero empezó a llegar mucha gente, desde que llegó la planta y todas sus proveedoras (refiriéndose a la VW), se construyeron varios fraccionamientos, ahí vive mucha gente que trabaja en la planta, las cosas cambiaron...ahora ya no hay agua, el estado nos quitó tres pozos del lado del periférico para abastecer de agua a la ciudad. Los manantiales quedaron dentro de las empresas, los pozos caseros se secaron, los nuevos fraccionamientos tienen sus propios pozos y el municipio les ha dado prioridad para la dotación de agua”.*

En el polígono del municipio se localizaron 23 pozos (Figura 3) con un volumen total concesionado de 321,5053 m<sup>3</sup>, cuyo mayor porcentaje está destinado al uso público urbano. En el Cuadro 2, se observa el incremento significativo que tuvo el volumen de agua para uso público urbano de poco más del 80% seguido del volumen para uso agrícola, que denota el claro crecimiento de la población urbana del municipio y por ende de la demanda de agua para cubrir sus necesidades.

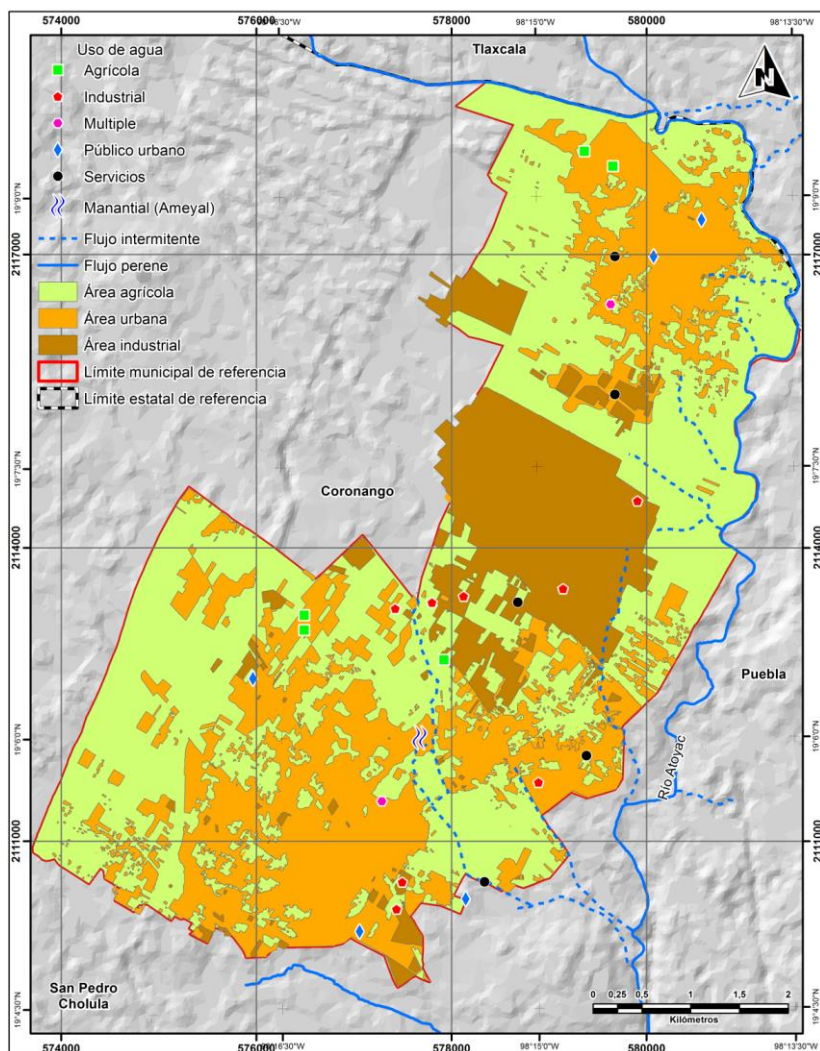


Figura 3. Ubicación y uso de aprovechamientos de agua subterránea y superficial del municipio de Cuautlancingo  
Fuente: elaboración propia con información del REPDA

Cuadro 2. Aprovechamientos de agua subterránea, uso y volumen concesionado

USO	2000			2010			Totales		
	No. pozos	Volumen concesionado m <sup>3</sup>	% de volumen concesionado	No. pozos	Volumen concesionado m <sup>3</sup>	% de volumen concesionado	No. pozos	Volumen concesionado m <sup>3</sup>	% de volumen concesionado
Servicios Público	0	0	0	4	71300	3	4	71300	2.2
Urbano	1	287438	33.5	4	1549406	66.7	5	1836844	57.1
Múltiple	1	98582	11.5	1	14537	0.6	2	113119	3.5
Industria	0	0	0	7	480786	20.4	7	480786	15
Agrícola	4	471004	55	1	242000	10.3	5	713004	22.2
<b>TOTALES</b>	<b>6</b>	<b>857024</b>	<b>100</b>	<b>17</b>	<b>2358029</b>	<b>100</b>	<b>23</b>	<b>3215053</b>	<b>100</b>

Fuente: elaboración propia con información del REPDA

El abastecimiento de agua para uso público urbano se vuelve complejo dado el crecimiento constante de la población y de sus necesidades. Cuautlancingo cuenta con 10 pozos registrados para abastecer de agua al municipio. (Figura 4).

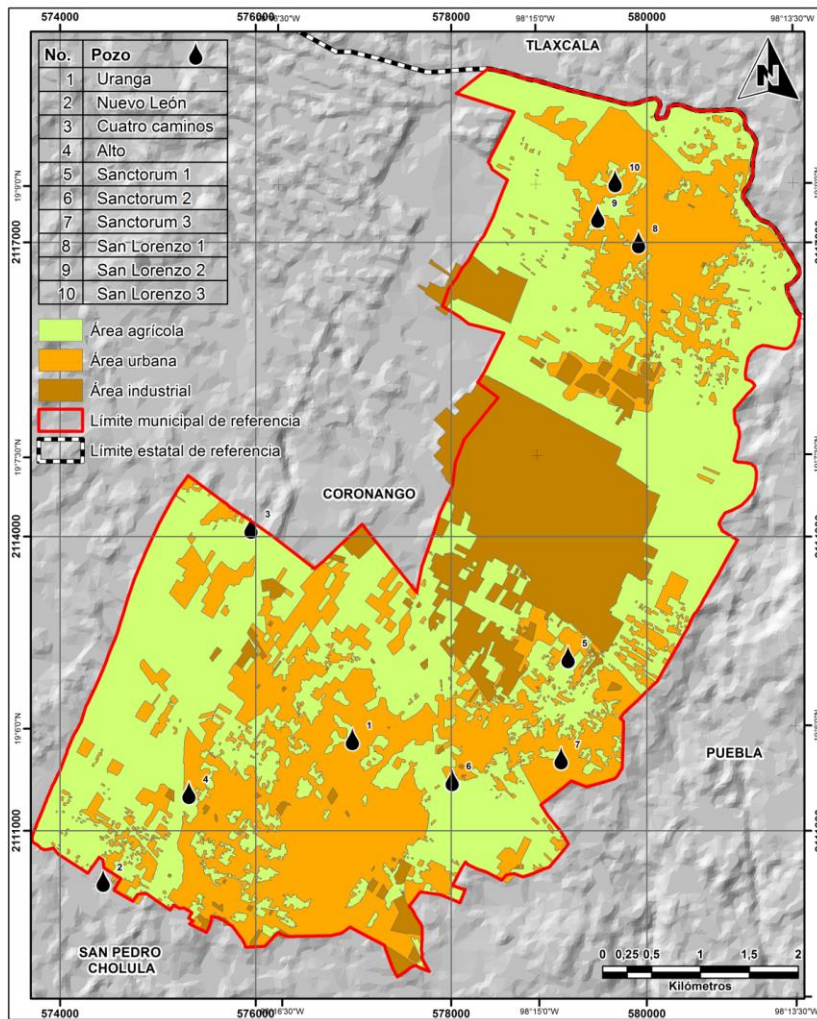


Figura 4. Ubicación de pozos de uso público urbano del municipio.

Fuente: elaboración propia con información de SOSAPAC, de la Junta de Administración, Operación y Mantenimiento de Agua Potable de Sanctorum y del Comité de Agua Potable de San Lorenzo Almecatla.

De acuerdo a la Ley de Aguas para el Estado de Puebla, la gestión de los recursos hídricos y la prestación integral de los servicios públicos relacionados con el agua potable es tarea de los municipios. La administración del servicio se realiza través de los organismos operadores: el SOSAPAC quien se encarga de dotar de agua a la cabecera municipal y a los nuevos fraccionamientos de uso habitacional, en la junta auxiliar de Sanctorum se cuenta con una Junta de Administración, Operación y Mantenimiento de Agua Potable y para la junta auxiliar de San

Lorenzo Almecatla se tiene un Comité de Agua Potable. Estos organismos son los encargados de que el servicio se preste con la continuidad, calidad y cobertura que permita la satisfacción de las necesidades de los usuarios y la protección del ambiente y en general de la gestión integral de los recursos hídricos como lo marca la Ley.

De acuerdo a datos del INEGI, la cobertura del servicio de agua potable disminuyó de 2000 al 2010. A diferencia los hogares se incrementan en 49% al igual que la población, que se incrementa en un 41% (Cuadro 3). Evidentemente al incrementarse la población la cobertura de agua potable disminuye.

Cuadro 3. Cobertura de agua potable en hogares del Municipio de Cuautlancingo, Puebla.

Años	No. hogares	Población por hogares	Total de viviendas	Viviendas con agua entubada	Viviendas sin agua entubada	% de cobertura de agua entubada
2000	10091	45697	9801	6875	96	70.1
2010	19834	77974	29089	17051	2666	58.6

Fuente: elaboración propia con información de INEGI, 2010.

Los encargados de los comités refieren que tienen una serie de problemas para la cobertura y dotación de agua a toda la población, entre éstos: el deterioro de la red y mal estado de la infraestructura, la escasez de recursos económicos, la disminución del gasto de agua ya que el nivel de agua ha bajado considerablemente especialmente en San Lorenzo Almecatla. Además el problema se ha acentuado con la construcción de nuevos fraccionamientos que requieren de mayores servicios, pero en el caso de las juntas auxiliares no han recibido apoyos estatales para cubrirlos, sin embargo, a los fraccionamientos se les ha dado preferencia para la dotación o incluso algunos de ellos han perforado sus propios pozos, como es el caso de viviendas del desarrollo inmobiliario GEO. Condición que pone en cierta desventaja a los pobladores oriundos del municipio.

*"Hay problemas para la dotación de agua, la red de agua potable está en mal estado y no es suficiente para cubrir las necesidades de la población, los pozos tienen que trabajar durante las noches y apoyarnos con pipas de agua para atender a la población, aún con eso no es suficiente, y luego agréguele los problemas que han dejado las administraciones pasadas, realmente aunque quisiéramos no podemos dotar de agua. Aquí la gente viene a reclamarnos y tienen razón pero no podemos hacer más",* como lo refieren los mismos responsables del Comité de Agua Potable.

Los pozos profundos de agua potable que abastecen a la población del municipio y sus características se presentan en el Cuadro 4, en promedio están perforados a 147 metros de profundidad y están funcionando en promedio 18 horas diarias, aunque dada la demanda de agua en ocasiones operan las 24 horas del día. El volumen promedio de extracción es de 302'074,000 m<sup>3</sup> y un aforo promedio de 12 lts/seg.



Cuadro 4. Características de los pozos para el abastecimiento de agua potable del municipio de Cuautlancingo

Localidad	Pozo	Profundidad (m)	Horas de servicio	Aforo (lts/seg)	Volumen de extracción anual (lts)	Volumen de extracción anual (m <sup>3</sup> )
San Juan Cuautlancingo	Pozo alto	82.5	20	6	157680000	157680
	Pozo Nuevo León	122	20	13	341640000	341640
	Pozo 4 Caminos	131.5	24	10	315360000	315360
	Pozo Uranga	162	20	15	394200000	394200
Sanctorum	Sanctorum Pozo 1	80	20	8	210240000	210240
	Sanctorum Pozo 2	ND	20	16	420480000	420480
San Lorenzo Almecatla	San Lorenzo Pozo 1	200	12	7	110376000	110376
	San Lorenzo Pozo 2	200	15	18	354780000	354780
	San Lorenzo Pozo 3	200	15	17	335070000	335070
<b>Total</b>					<b>2639826000</b>	<b>2639826</b>

Fuente: elaboración propia con información de la Junta de Administración, Operación y Mantenimiento de Agua Potable de Sanctorum, del Comité de Agua Potable de San Lorenzo Almecatla y de SOSAPAC.

Para determinar la dotación por habitante al día se utilizaron los datos de los aforos por pozo, resultando evidente que el crecimiento de la población del 2000 al 2015 hizo disminuir la dotación de agua de 17.35 lts/hab/día a 7.22 lts/hab/día, respectivamente (Cuadro 5). En todos los casos, dicha dotación resulta menor a la recomendada por la Organización Mundial de la Salud que considera que la cantidad adecuada de agua para consumo humano (beber, cocinar, higiene personal, limpieza del hogar) debe ser de 50 lts/hab/día. Sin embargo, de acuerdo a los datos proporcionados por el Catastro municipal de San Juan Cuautlancingo se tiene proyectado para el 2018 una dotación 231 lts/seg para una población de 34,894 habitantes que albergará la cabecera municipal, dicha dotación la realizará con 4 pozos que estarán funcionando 24 horas de servicio ininterrumpido y extrayendo un volumen aproximado de 2`639,826 m<sup>3</sup>

Cuadro 5. Dotación de agua potable para uso urbano

Localidad	Habitantes			Aforo promedio	Horas de servicio promedio	Dotación por habitante al día		
	2000	2010	2015			2000	2010	2015
San Lorenzo								
Almecatla	7933	21587	N/D	14	14	96.1	32.7	N/D
Sanctorum	21095	27940	N/D	12	20	41.0	30.9	N/D
San Juan								
Cuautlancingo	17701	29626	N/D	11	21	47.0	28.1	N/D
<b>Población total</b>	<b>46729</b>	<b>79153</b>	<b>112225</b>	<b>12.22</b>	<b>18.44</b>	<b>17.35</b>	<b>10.24</b>	<b>7.22</b>

Fuente: elaboración propia a partir de datos del estudio.

Para contar con un panorama completo de lo que ocurre en cuanto a la cobertura y calidad del servicio de agua potable en Cuautlancingo es necesario conocer y analizar la perspectiva de la comunidad, para tal efecto se aplicó una encuesta a una muestra de 130 hogares. Los resultados señalan que el 91.5% de los encuestados tienen servicios de agua potable. Sin embargo, el estar conectado a la red de agua no implica que la reciban. En promedio reciben agua 2.6 días a la semana durante 7.5 horas, pero refieren que la cantidad de agua es mínima y no alcanzan a llenar sus fuentes de almacenamientos como: cisternas, tinacos, tambos o cubetas. De los hogares encuestados el 47.7% almacena su agua en cisternas con capacidad en su mayoría de 10,000 litros, un 33% almacena su agua en tinacos generalmente de 1,100 o 2,500 litros. El problema se agudiza principalmente para los hogares con mayor número de integrantes quienes no alcanzan a satisfacer sus necesidades; en promedio en los hogares viven 4.5 personas.

La dotación del vital líquido y la prestación del servicio se realizan través de los organismos operadores. Al respecto, el 83% le paga el servicio al municipio y el 6.2 % le paga al Comité. En promedio el pago es de \$45.00 pesos mensuales. Respecto a la pregunta sobre si tenían conocimiento del volumen de agua que recibía la respuesta del total de los encuestados fue que no saben. Además el 67% no tiene medidor y el 25% si tienen, pero no sirve, incluso indican desde que lo instalaron no funcionó.

El porcentaje de los encuestados que no están conectados a la red de agua potable es del 8.5% del total de hogares encuestados, de los cuales el 14% tienen pozo, la mayoría no regularizados. Los habitantes señalan que continúan utilizando el agua de pozo porque el municipio no satisface sus requerimientos de agua y aún así tendrían que pagar el servicio. En este caso, es necesario resaltar que los hogares que cuentan con pozo son viviendas que tiene muchos años y sus habitantes son oriundos del municipio. De manera complementaria el 24% se abastece comprando pipas de agua con capacidad entre 5,000 y 10,000 litros pagando de \$250.00 a \$280.00 por pipa. El 14% compra pipa una vez al mes y el 9.2% cada quince días.

Se les preguntó si el agua que reciben la utilizan para beber y/o cocinar, a lo que respondieron que no, para ello, compran garrafones de agua dependiendo del número de integrantes en el hogar, en promedio compran 2.5 garrafones a la semana resultando un gasto de \$35.00 pesos a la semana. En su mayoría compran agua de las purificadoras de la zona (únicamente rellenan el -garrafón) cuyo precio oscila entre los \$10.00 y los \$12.00 pesos por garrafón de 20 litros, a diferencia de las marcas comerciales que tiene un precio entre \$25.00 y \$30.00.

En general, es importante conocer la percepción que tienen los habitantes del servicio de agua potable que les brinda el municipio a través del organismo operador y de los Comités de Agua que conduzca a determinar el grado satisfacción, es decir, cual es la percepción que tienen las personas al contar con el servicio comparado con lo que esperaban recibir. La Figura 5 muestra la relación del grado de satisfacción respecto a si el agua que reciben es suficiente para cubrir sus necesidades.

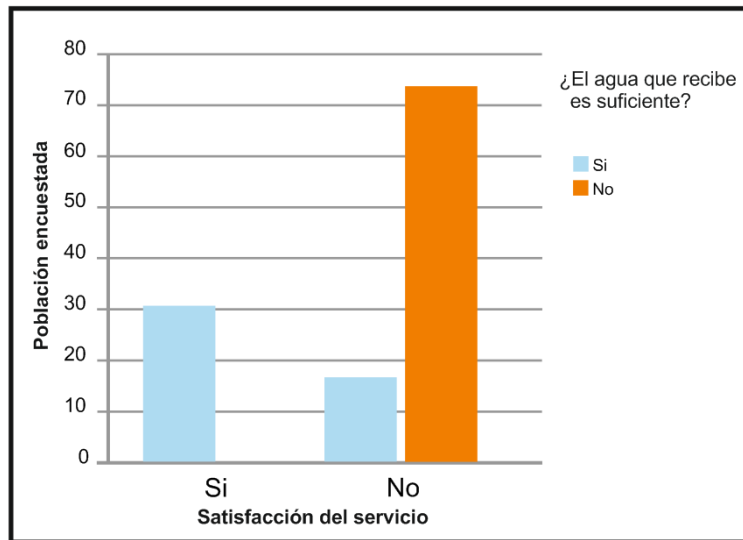


Figura 5. Relación de satisfacción de servicio de agua potable  
Fuente: elaboración propia con información de encuestas

### 3.6. Conclusiones

El crecimiento urbano del municipio de Cuautlancingo se agudizó a partir del proceso de conurbación de la ciudad de Puebla y la instalación de la industria automotriz, esto trajo consigo la construcción de una importante infraestructura vial que facilitó la comunicación con los principales núcleos de población y el intercambio comercial. Consecuentemente, los cambios de uso de suelo fueron evidentes a medida que la población aumentó, la demanda por espacio habitacionales también aumentó, así como la demanda de servicios públicos, especialmente el agua potable. Hay que resaltar que otro factor que contribuye al crecimiento de la población es la oferta de vivienda por parte de los fraccionadores, que continúan con la construcción de unidades habitacionales, atrayendo un gran número de población, no originaria del municipio.

El uso de los SIG evidenció el cambio del uso de suelo urbano generado con la construcción de viviendas, el equipamiento urbano y el crecimiento industrial, privilegiando el uso del agua para las zonas urbanas y los desarrollos industriales. Condición que a la vez que trae consigo el cambio de uso del suelo, alterando su capacidad natural de retención, absorción y percolación del agua al subsuelo, al impermeabilizarlo una vez que es “*encementado*”.

Cuautlancingo tiene serios problemas para cubrir la demanda de agua potable dado el crecimiento urbano e industrial aunado a una deteriorada red de distribución, y líneas de conducción que no son suficientes. En general la infraestructura hidráulica se encuentra en mal estado, en las que se incluyen los equipos de extracción y los sistemas de conducción y de almacenamiento del agua.

Hay una clara tendencia de dotar con mayor cantidad de agua a los hogares de los nuevos fraccionamientos que a la población que vive en el centro o en las colonias más antiguas del municipio, donde generalmente radica la población originaria del municipio. Esto se traduce en

una insatisfacción por parte de esta población a quienes no se les dota de agua frecuentemente y los días que llegan a tener el servicio, la cantidad de agua es mínima e insuficiente para satisfacer su demanda mínima y propiciar su eficaz almacenamiento.

En términos generales, el cambio uso de suelo y el aumento en la demanda de agua, reflejan una profunda interdependencia que condiciona la permanencia y disponibilidad de los recursos naturales ante el crecimiento urbano del municipio de Cuautlancingo, Puebla y en general en las zonas de mayor crecimiento urbano.

### 3.7. Referencias citadas

- Bonilla M. M., Aide, T. M., y Clark, M. L. (2012). El efecto del cambio poblacional en el uso del suelo en paisajes rurales de México: un análisis a nivel estatal. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 4(2).
- CONAGUA. (2008). *Estadísticas del agua en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Diario Oficial, (2002). DECRETO por el que se aprueba el programa sectorial denominado Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio 2001-2006. Secretaria de Desarrollo Social.
- Díaz, C. R.E., Peña, L. C. B., Cejudo, L. C. A., y Flores, E. S. (2014). Análisis geoespacial de la interacción entre el uso de suelo y de agua en el área peri-urbana de Cuauhtémoc, Chihuahua. Un estudio socioambiental en el norte de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2014(83), 116-130.
- Gómez, A., Roberto. (1979). “Introducción al muestreo”. Tesis de Maestría en Ciencias en Estadística. Centro Estadística y Cálculo. Colegio Postgraduados. Chapingo México.
- Guindon, B., Zhang., & Dillabaugh, C. (2004), “Landsat urban mapping based on a combined spectral-spatial methodology”, *Remote Sensing of Environment*, no. 92(2), pp. 218-232.
- Hernández, E. G. (2015). Un acercamiento histórico a las condiciones “originales” de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo y su respuesta superficial en la microcuenca de la ciudad de Puebla. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2015(86), 38-52.
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Cuautlancingo, Puebla. [<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/21/21041.pdf>: 20 de mayo de 2015]
- INEGI, (2010) Censo de Población y Vivienda 2010
- INEGI, (2011) Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010, Puebla
- INEGI, (2015) Tabulados de la encuesta intercensal 2015

- INEGI, (2016) Metodología de Indicadores de la Serie Histórica Censal. 2016
- López, Z. R. y Montalvo, R. V. (2015). Expansión urbana, agua potable y saneamiento en la Zona metropolitana Puebla Tlaxcala (ZMPT). *Revista OIDLES*, n. 18 (diciembre 2015). En línea: <http://www.eumed.net/rev/oidles/19/saneamiento.html>
- Negrete, M. E. (2010). Las metrópolis mexicanas: conceptualización, gestión y agenda de políticas. G. Garza and M. Schteingart, *Los Grandes Problemas de México: Desarrollo Urbano y Regional*, El Colegio de México: México, 173-212.
- Salazar, A., y Pineda, P. N. (2010). Escenarios de demanda y políticas para la administración del agua potable en México: el caso de Hermosillo, Sonora. *Región y sociedad*, 22(47), 105-122.
- SEDESOL, CONAPO e INEGI (2012). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010.
- Sobrino, J. (2003). Zonas metropolitanas de México en 2000: conformación territorial y movilidad de la población ocupada. *Estudios demográficos y urbanos*, 461-507.
- Tan, M., Li, X., Xie, H. & Lu, C. (2005), "Urban land expansion and arable land loss in China a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region", *Land Use Policy*, no. 22(3), pp. 187-196.
- Weatherhead, E. K., & Howden, N. J. K. (2009). The relationship between land use and surface water resources in the UK. *Land Use Policy*, 26, S243-S250.
- Weber, C. & Puissant, A. (2003). Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis Metropolitan Area. *Remote sensing of environment*, 86(3), 341-352.
- Yuan, F., Kali, E. S., Brian, C. L., & Marvin, E. B. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 317 - 328.



## **Conclusiones generales**

Los resultados de esta investigación permiten conocer la dinámica espacio temporal de los cambios de uso de suelo y los factores que influyeron para la nueva configuración urbana del municipio de Cuautlancingo, Puebla.

El análisis de los cambios de uso de suelo en el municipio de Cuautlancingo desde 1958 hasta el 2015 a través de los SIG, permitió evidenciar el detrimento de las áreas destinadas para uso agrícola a diferencia de las de uso urbano que ganaron superficie. Consecuentemente, el incremento de la superficie urbanizada tuvo como consecuencia el incremento la degradación de los recursos naturales, particularmente suelo y agua, haciendo más impermeable los suelos impidiendo la recarga natural de agua a los mantos freáticos y otras fuentes superficiales.

Los elementos centrales para el cambio de uso de suelo y crecimiento urbano fue la conurbación de la ciudad de Puebla y el establecimiento de la industria en el municipio.

A medida que se dio el crecimiento de la población, se registró un proceso de urbanización que requirió de mayores servicios, en particular de agua potable, condición que se dificultó cada vez más, ya que no ha sido posible dotar de agua potable suficiente a la población, disminuyendo drásticamente la dotación por habitante al día de 18.4 en el año 2000 a 7.2 en el año 2015.

Metodológicamente, el estudio utilizó como componente central el análisis espacial con el uso de los SIG que permitió cuantificar los cambios y generar mapas temáticos favoreciendo el conocimiento del espacio geográfico del municipio como un elemento que contribuya a la toma de decisiones y constituya una base para generar estrategias de ordenamiento territorial.

Finalmente, es evidente que existe una interdependencia entre el crecimiento urbano, el cambio de uso de suelo y la disponibilidad de agua potable, que se resume a la vez, en una interdependencia de variables sociales, económicas y ecológicas.

## Recomendaciones

- Actualizar los cambios de usos de suelo con el uso de un SIG y homogeneizar la información para que pueda servir a los distintos agentes que intervienen en la planificación y gestión del territorio. Además se puede generar nueva información a partir de los resultados que permitan una acertada toma de decisiones.
- Es necesario generar cartografía de la dinámica de los cambios de uso de suelo para registrar y actualizar las transformaciones de usos y sus consecuencias sobre los recursos hídricos.
- La información con la que se cuenta, debe ser comparada con la de otros estudios en otros municipios o zonas con dinámicas de crecimiento urbano similares.
- Diseñar plan ordenamiento urbano acorde a las características del municipio considerando un patrón de uso urbano, que predomina en el municipio, con un patrón de áreas verdes con fines de conservación ecológica.
- Considerar la planeación urbana como un proceso continuo que implica responsabilidades y colaboración entre municipios conurbados.
- En la actualidad, son escasos los estudios que explican los efectos del crecimiento demográfico y los cambios de uso de suelo sobre la disponibilidad de recursos hídricos, por lo cual es imprescindible continuar con este tipo de análisis a fin de conocer su tendencia y sus efectos a largo plazo, e incorporar otras variables socioeconómicas y ambientales.