

Cambio de uso de suelo y variabilidad climática en Chiutzingo, Puebla, México



Change of soil use and climate variability in Chiutzingo, Puebla, Mexico

García Hernández, Misael; Pérez Magaña, Andrés; Martínez Corona, Beatriz; Gutiérrez Villalpando, Verónica; Editor Académico Prof. Dr. Carlos Alberto Zúniga-González

 Misael García Hernández

tusael@hotmail.com

Colegio de Postgraduados, México

 Andrés Pérez Magaña

apema@colpos.mx

Colegio de Postgraduados, México

 Beatriz Martínez Corona

beatrizm@colpos.mx

Colegio de Postgraduados, México

Verónica Gutiérrez Villalpando

bioveros@hotmail.com

Colegio de Postgraduados, México

Editor Académico Prof. Dr. Carlos Alberto Zúniga-González

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua,

León. Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinarias.

Departamento de Agroecología, Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol. 6, núm. 11, 2020

czuniga@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 17 Febrero 2020

Aprobación: 19 Junio 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941758001/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9421>

Autor de correspondencia: apema@colpos.mx

Copyright (c) 2020 Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Resumen: La modificación de la cobertura vegetal es evidente y creciente, las causas principales son las diferentes actividades socioeconómicas que desarrolla la población. El clima es un factor esencial en la distribución de patrones bióticos de los ecosistemas y, en el mismo sentido, los ecosistemas, a través de su cobertura, pueden incidir en la variabilidad climática. Los estudios que consideran el cambio de uso de suelo, la vegetación y el clima son relevantes para determinar los procesos relacionados con la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y variabilidad climática. En este estudio se analizó el cambio de uso del suelo y la variabilidad climática para el periodo 1984-2018 en el municipio de Chiutzingo, Puebla, México a partir de imágenes de satélite Landsat en Sistemas de Información Geográfica. Se analizaron datos históricos de tres estaciones climatológicas y mediante una encuesta a productores, se recabó información sobre la percepción tanto del fenómeno del cambio de uso del suelo como del de variabilidad climática. El cambio de uso del suelo está relacionado con la pérdida de superficie forestal, con una tasa de cambio anual de -0.57 %. El incremento de la superficie destinada a agricultura protegida fue de 310.58 hectáreas, lo cual ejerce presión fuerte sobre los recursos bióticos y abióticos. También se encontró que existe variabilidad climática, la cual es percibida por la población. Es necesario contar con este análisis para identificar las áreas que tienen mayor degradación ambiental, y como base para la planificación del uso y manejo de los recursos naturales.

Palabras clave: Degradación ambiental, Percepción, Superficie forestal.

Abstract: The modification of the vegetal cover It's obvious and increasing, the main causes are the different socioeconomic activities that the population develops. Climate is an essential factor in the distribution of biotic patterns of ecosystems and, in the same sense, ecosystems, through their cover, can influence climate variability. Studies that consider the change in land use, vegetation and climate are relevant to determine processes related to soil degradation, loss of biodiversity and climate variability. This study analyzed the change in land use and climate variability from 1984 to 2018 in the municipality of Chiutzingo, Puebla, Mexico from Landsat satellite images in Geographic Information Systems. Historical data from

three weather stations were analyzed and through a survey of producers, information was collected on the perception of both the phenomenon of land use change and climate variability. The change in land use is related to the loss of forest area, with an annual exchange rate of -0.57%. The increase in the area devoted to protected agriculture was 310.58 hectares, which puts pressure on biotic and abiotic resources. It was also found that there is climatic variability, which is perceived by the population. It is necessary to have this analysis to identify the areas that have the greatest environmental degradation, and as a basis for planning the use and management of natural resources.

Keywords: Environmental degradation, Perception: Forest area.

INTRODUCCIÓN

Las acciones de índole económica y social que desarrolla la humanidad han favorecido la modificación del entorno donde se establece, esto con la finalidad de satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, vivienda y servicios básicos; causando cambios en el ambiente a consecuencia de alterar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, la vegetación y hábitat de la fauna silvestre. Por ello, es importante conocer la dinámica y magnitud del cambio del uso del suelo en los ecosistemas alterados, razón principal de la pérdida de vegetación natural (Lambin, 1997).

A nivel mundial el cambio de uso de suelo que causa la deforestación se ha incrementado en las últimas décadas, por ejemplo, la superficie total de bosque en 2005 era de 3.8 mil millones de ha, lo cual equivale aproximadamente al 30 por ciento de la superficie mundial de la tierra. Y hubo una reducción neta en la superficie mundial de bosques entre 1990 y 2005 de 66.4 millones de ha, es decir el 1.7 por ciento (FAO y JRC, 2012). La conversión de zonas forestales para agricultura ha alcanzado una pérdida de 4.8 millones de hectáreas, entre el periodo 2000-2005 (tasa de 0.12% anual) y para 2005-2010 se incrementó a 5.6 millones (tasa de 0.14% anual) (FAO, 2010).

En México, la deforestación y el incremento poblacional son los fenómenos más importantes que influyen en los procesos de cambio de uso de suelo (Mas et al., 2009). Como muestra, para el periodo 1993 y 2002 se registró un cambio de uso de suelo en vegetación natural en poco más de 3 millones de hectáreas, lo que equivale a una reducción cercana a las 336 mil hectáreas anuales. Entre 2002 y 2007 desaparecieron 1.9 millones de hectáreas de vegetación natural, a un ritmo poco más de 382 mil hectáreas anuales, principalmente a causa de la deforestación. En relación a las actividades agropecuarias, las áreas dedicadas a la agricultura y pastizales aumentaron en 1.5 millones de hectáreas para este último periodo, con una extensión total de 51.1 millones de hectáreas (SEMARNAT, 2014).

De acuerdo al informe de la situación del medio ambiente en México emitido en el año 2015 por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal, entre el año 2002 y 2011 el estado de Puebla recuperó 0.24% de su cubierta natural. Sin embargo, el informe menciona que el estado de Puebla presenta daño por erosión hídrica en 76.6 % de su territorio. Es imperante comentar que la superficie de cambio de uso de suelo es dinámica y constante, principalmente en función de los requerimientos y necesidades de las sociedades.

El cambio de uso de suelo hace referencia al cambio en el uso o manejo del suelo que realizan los seres humanos e induce un cambio en la cubierta terrestre (IPCC, 2000). Para la cuantificación del cambio de

NOTAS DE AUTOR

apema@colpos.mx

uso de suelo se debe obtener estadísticas del cambio, su localización geográfica mediante la sobre posición de fuentes cartográficas corregidas digitalmente en al menos dos momentos. Este análisis genera una cartografía confiable que expresa la magnitud y distribución espacial de la dinámica del cambio de uso del suelo en el área de estudio y brinda las superficies de cada categoría de uso de suelo para calcular la tasa de cambio (Velázquez et al., 2002).

Variabilidad climática

El cambio climático mundial, dado en gran medida por diversos procesos antrópicos relacionados al consumo y al comercio, al cambio de uso de suelo, a la falta de conciencia ambiental, pocas políticas preventivas y en general al modelo de desarrollo hegemónico que guía los deseos de las sociedades contemporáneas es un problema que se debe enfrentar en la actualidad (Cordoba y León, 2013). En América latina, los escasos estudios realizados, dan cuenta de los riesgos de pérdidas en biodiversidad, salinización y desertificación de terrenos agrícolas, además de la reducción en la productividad de cultivos básicos y de la ganadería, con consecuencias sobre los procesos alimentarios para los pueblos de esta región (Rodríguez, 2007).

La variabilidad climática se entiende como una medida del rango en que las variables climáticas, como temperatura o lluvia, cambian de un año a otro. Incluso puede incluir las variaciones en la actividad de condiciones extremas, como las variaciones del número de aguaceros de un verano a otro. La variabilidad climática es mayor a nivel regional o local que al nivel hemisférico o global (Ministerio del ambiente, 2010). La variabilidad climática hace cuestionar el comportamiento del ser humano como los patrones de consumo, las relaciones sociales, el manejo, aprovechamiento y distribución de los recursos naturales, así como las bases fundamentales de lo que denominan desarrollo.

Por ello, conocer el proceso espacio-temporal de cambio del uso del suelo, la variabilidad climática y la percepción de la población, permite fundamentar políticas públicas orientadas a plantear estrategias de planeación para el uso y manejo de los recursos naturales a escala de micro-regiones y tener una fuente de información sobre el uso actual del suelo, la vegetación y el clima, lo cual coadyuva a generar programas y proyectos de planeación de los recursos naturales y el ordenamiento territorial, así como de conservación de los recursos naturales. Por tanto, el objetivo de este trabajo plantea conocer la dinámica del cambio de uso del suelo, para determinar las pérdidas o ganancias de los diferentes usos de las coberturas existentes. Además se proyecta conocer información sobre variabilidad climática, así como la percepción de la población sobre estos fenómenos para proponer intervenciones que apoyen las tendencias más promisorias en el Municipio de Chiautzingo.

Materiales y métodos

El referente empírico para la realización de esta investigación fue el municipio de Chiautzingo, localizado en la parte centro oeste del Estado de Puebla (Figura 1). El área de estudio representa el 0.24 % de la superficie del estado, en la cual se distribuyen 22 localidades.

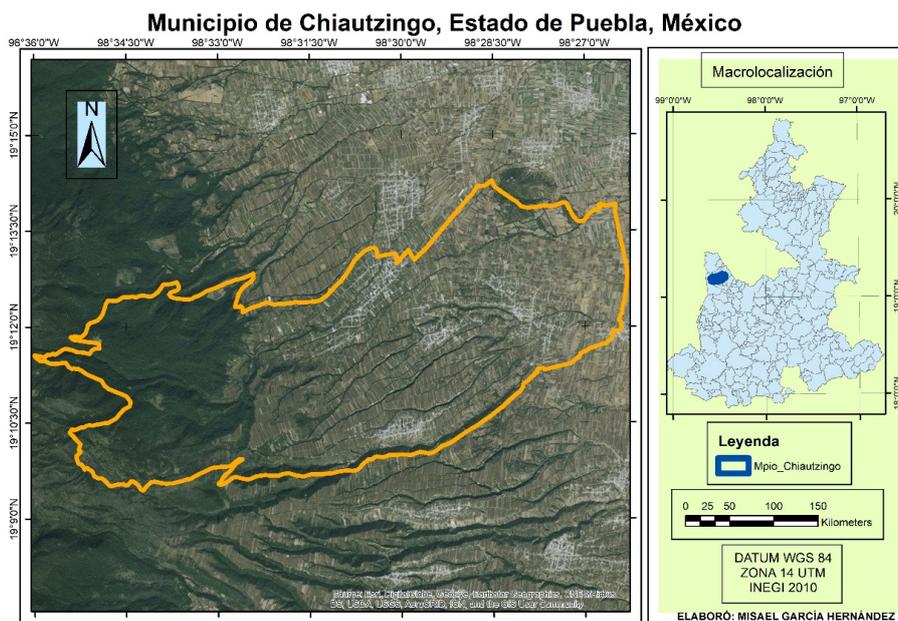


FIGURA 1
 Macrolocalización del municipio de Chiautzingo, estado de Puebla.
 Elaboración propia con datos de INEGI, (2010).

Las variantes climáticas reportadas en el municipio son templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (67.34 %), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (16 %) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (32.66 %). El rango de temperatura se encuentra entre 6-16 °C y de precipitación entre 900-1100 mm (Rivera, et.al 2016)(INEGI, 2010).

Respecto al uso del suelo y vegetación, el INEGI (2010) reportó que la mayor parte de la superficie del municipio de Chiautzingo se encuentra ocupada por la agricultura (44.5 %), seguida del uso forestal (34 %) del cual los pastizales ocuparon el 0.5 % y los asentamiento urbanos el 21 %. Por medio del análisis realizado con imágenes de satélite LANDSAT, se determinó que en el año 2018 la mayor superficie del municipio se dedicó a la agricultura (49 %), seguida por el uso forestal con 38.9 %, asentamientos humanos 8.1 %, y agricultura protegida con el 3.8 %, lo cual da cuenta del cambio en el uso de suelo.

El Censo de Población y Vivienda del año 2000 del INEGI reportó una población total en el municipio de Chiautzingo de 17,788 habitantes. El Plan de Desarrollo Municipal de Chiautzingo, Puebla 2014-2018 para el año 2018 estimó que la población del municipio llegaría a 21,289 habitantes, lo cual representa un incremento del 19.6 % en la población. La población ocupada en el municipio dentro de algún sector de actividad económica era para el año 2016 de un total de 9,117 personas, de las cuales en mayor porcentaje estaban en el sector secundario (32.62%), seguido del sector de servicios (25.54%), después el sector comercio (20.22%) y por último el sector primario (17.82%) (INEGI, 2016). Según el XI censo general de población y vivienda del INEGI en el año 1990, se tenía una población económicamente activa de 3, 476 personas, de las cuales el mayor porcentaje se encontraba en el sector primario (72.70%), seguido del sector secundario (15.19%) y por último el terciario (12.11%). Derivado de lo anterior, se observa un cambio significativo en las actividades de la población económicamente activa y se visualiza un abandono significativo del sector primario.

Procesamiento de la información

El presente trabajo partió de la delimitación del área de estudio con el apoyo de insumos vectoriales del INEGI, para posteriormente procesar imágenes de satélite del área de estudio pertenecientes a los años 1984 y 2018, a partir de ello, se realizaron mapas temáticos de uso de suelo y vegetación. Con ello se definieron las categorías de análisis y se calculó la matriz de cambios. En el mismo sentido se analizaron información climatológica que pudiera dar cuenta de la variabilidad climática en el área de estudio y se recabó información de la percepción de ambos fenómenos, mediante la aplicación de una encuesta a una muestra aleatoria simple de las unidades de producción agropecuaria y forestal ubicadas en el área de estudio (Figura 2).

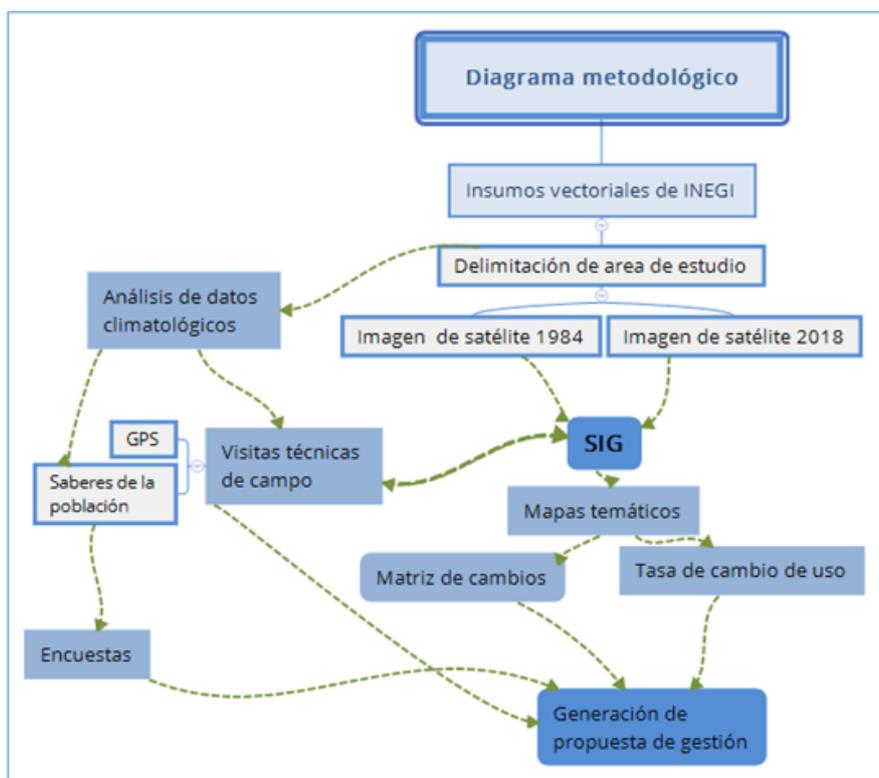


FIGURA 2
Diagrama de la metodología seguida en la investigación
Elaboración propia

Mapas temáticos

La elaboración de los mapas de uso de suelo y vegetación, así como el análisis de la dinámica del cambio de uso del suelo se hicieron mediante los Sistemas de Información Geográfica con el software ArcMap 10.2.2. El primer paso fue la obtención de las imágenes de satélite Landsat Thematic Mapper (TM) y TM+ del año 1984 y 2018. Como complemento, se utilizó el Global Position System (GPS), para verificar y georreferenciar la información digital poco precisa in situ.

Categorías de análisis

Las categorías de análisis elegidas para el estudio con los sistemas de información geográfica a través de las imágenes de satélite se determinaron a partir de los siguientes criterios: 1) observación directa (visitas técnicas de campo) y 2) los saberes de la población (Camacho et al., 2015). Las categorías de análisis definidas fueron: bosque, agricultura, agricultura protegida y asentamientos humanos.

Matriz de transición

El análisis espacio-temporal del cambio de uso del suelo en este estudio comprendió el espacio geográfico del municipio de Chiatzingo, el cual se analizó de manera longitudinal a lo largo de un periodo de 34 años por medio de la sobreposición de los mapas temáticos de uso de suelo y vegetación, así como la matriz de cambios (Cuadro 1), que muestra la superficie de uso de suelo durante los años analizados. Con la información de la matriz de cambios, se calcularon las ganancias, pérdidas, persistencia y porcentajes de las coberturas vegetales siguiendo las indicaciones sugeridas por (Camacho et al., 2015; López et al., 2015).

CUADRO 1
Matriz de cambios

Año t1	Año t2										
	Categoría 1 (t1)	Categoría 1 (t2)	Categoría 1 (t1), categoría 1 (t2)	Categoría 2 (t2)	Categoría 2 (t1) categoría 1 (t2)	Categoría 3 (t2)	Categoría 3 (t1) categoría 1 (t2)	Categoría n (t2)	Categoría n (t1) categoría 1 (t2)	Total (t1)	Total
Categoría n (t1)	Categoría 1 (t1) categoría 2 (t2)	Categoría 1 (t1) categoría 2 (t2)	Categoría 2 (t1) categoría 2 (t2)	Categoría 2 (t1) categoría 2 (t2)	Categoría 3 (t1) categoría 2 (t2)	Categoría 3 (t1) categoría 2 (t2)	Categoría n (t1) categoría 2 (t2)	Categoría n (t1) categoría 2 (t2)	Total	2 (t1)	categoría
Total (t2)	Total	categoría 1	Total	categoría 2 (t2)	Total	categoría 3 (t2)	Total	categoría n (t2)	Suma de totales		

Elaboración propia basada en Camacho et al. 2015.

Tasa de cambio de uso de suelo

Los resultados de las superficies de cada categoría de análisis que arrojó la matriz de cambios sirvieron para obtener las tasas de cambio de uso de suelo. Por su parte las tasas de cambio de la cobertura y uso del suelo para algún periodo de tiempo se determinaron mediante la fórmula especificada por la FAO Ecuación (1):

$$T = 1 - \frac{\left[1 - \left(\frac{S_2}{S_1}\right)\right]^{1/n}}{\dots \dots \dots} \dots \dots \dots (1) \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Dónde:

T corresponde a la tasa de cambio;

S1 la superficie cubierta por un tipo dado de uso/cobertura del suelo en la fecha 1;

S2 es la superficie del mismo uso/cobertura del suelo en la fecha 2 y;

n es el número de años transcurridos entre las dos fechas (Camacho et al., 2015).

Análisis de información climatológica

Según la Organización Meteorológica Mundial, el clima es considerado, como: el “promedio del estado del tiempo” o como una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las

cantidades de interés durante un período que puede abarcar desde algunos meses hasta miles o millones de años. El período clásico de estudio de este fenómeno es de 30 años, dichas cantidades son casi siempre variables de superficie como la temperatura, las precipitaciones o el viento. En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático, incluida una descripción estadística de éste. Para esta investigación se analizó un periodo de 36 años (1980-2016), en donde se contemplaron las variables de precipitación y temperatura, tomadas del promedio de tres estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas dentro de la región Iztaccihuatl, en la cual se ubica el área de estudio.

La información de temperaturas y precipitaciones se trató con el método de análisis y síntesis para relacionar las variables entre sí, como un todo, partiendo de la identificación de datos iniciales, con la finalidad de valorar tendencias e identificar variabilidad climática. Para ello, se utilizó el programa EXCEL para integrar y analizar las variables climáticas.

Población de estudio

Se seleccionaron las cinco localidades más grandes y representativas del municipio, y con distribución de manera proporcional en cuanto a las categorías de análisis, con la finalidad de contrastar resultados, estas fueron: San Lorenzo Chiautzingo, San Antonio Tlatenco, San Juan Tetla, San Agustín Atzompa y San Nicolás Zecalacoayan. La unidad de análisis considerada fue las unidades de producción agropecuarias y forestales presentes en el municipio, es decir 2,615 unidades reportadas por el INEGI para el municipio de Chiautzingo.

Técnica de encuesta

En el presente estudio se aplicó una encuesta para lo cual se diseñó un cuestionario mediante el método descriptivo de encuesta muestral (FAO, 1998). Este tipo de encuesta permite unificar y estandarizar información para su análisis. El cuestionario fue en su mayoría de preguntas cerradas de opción múltiple. Esta información se complementó con la observación directa de las visitas técnicas de campo. El cuestionario se conformó por las siguientes secciones: 1) datos personales, 2) aspectos sociales, 3) agricultura, 4) agricultura protegida, 5) tenencia de la tierra, 6) percepción del cambio de uso de suelo y 7) percepción de variabilidad climática.

Tamaño de muestra

La referencia que se utilizó para determinar la muestra fueron las 2,615 unidades de producción agropecuaria y forestal que se reporta por el INEGI para el municipio de estudio. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente ecuación (2) matemática (Gómez, 1970):

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

[Ecuación]

En donde:

N = tamaño de la población,

Z = nivel de confianza (95%),

P = probabilidad de éxito, o proporción esperada (0.5),

Q = probabilidad de fracaso (0.5),

D = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción) (15%).

Realizando la sustitución de los valores en la ecuación, dio como resultado el siguiente tamaño de muestra:
n= 43 encuestas.

Análisis de la información

Los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos de las encuestas e información climatológica fueron procesados en el paquete estadístico Statistical Package for the Social Science (SPSS versión 20) de acceso libre. El análisis de los datos se realizó mediante cuadros de frecuencias y porcentajes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las categorías de análisis que se identificaron en campo (Figura 3) coinciden con las categorías que se pueden apreciar en las imágenes de satélite, las cuales son: agricultura (A), agricultura protegida (AP), bosque (B) y asentamientos humanos (AH).

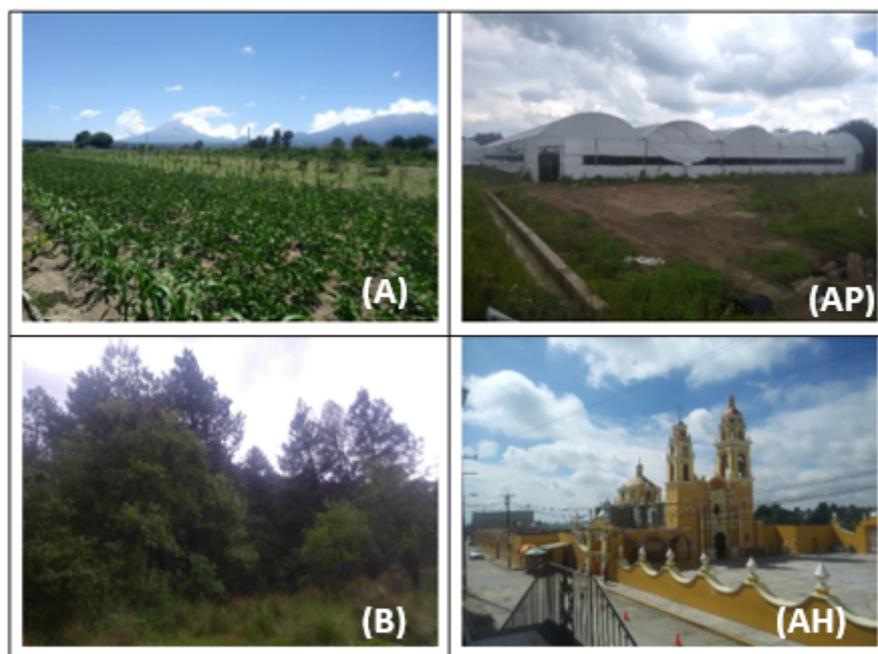


FIGURA 3.
Usos de suelo y vegetación del municipio de Chiutzingo, Puebla.
Trabajo de campo

Matriz de cambio

El área de estudio presentó cambios importantes en la estructura espacial, tal como se muestra en la matriz de cambio (Cuadro 2), la diagonal muestra la superficie que permaneció en el periodo de los dos momentos analizados.

CUADRO 2.
Matriz de cambios en los años 1984 y 2018.

Matriz de cambio de uso de suelo	1984				Total general (2018)
	Agricultura	Agricultura protegida	Asentamientos humanos	Bosque	
2018 Agricultura	3249.14	0.00	35.69	696.00	3980.83
Agricultura protegida	240.97	0.00	10.13	59.49	310.58
Asentamientos humanos	351.41	0.00	253.73	56.77	661.91
Bosque	122.45	0.00	0.60	3038.99	3162.03
Total general (1984)	3963.97	0.00	300.15	3851.24	8115.36

Elaboración propia.

Tasa de cambio de uso de suelo y balance de cambios.

Con el apoyo de los Sistemas de Información Geográfica se realizó la clasificación de superficies y se obtuvo un balance de superficies con cambio de uso de suelo y vegetación en los años 1984 y 2018. Así mismo, la tasa de cambio de uso de suelo (Cuadro 3) para el bosque fue calculada en -0.57% anual, lo cual indica que la superficie final tuvo un cambio negativo respecto a la superficie inicial de este estrato. Este resultado está por encima de la tasa obtenida por (Velázquez et al. (2002) para el estrato de bosque en el periodo del año 1973 al 2000 del uso de suelo en México, que tuvo una tasa de cambio anual de -0.25% . Lo anterior refleja una pérdida superior, al doble de la reportada a nivel nacional. Respecto a la superficie con agricultura y asentamientos humanos tuvieron cambio positivo en cantidad de superficie. Para el caso de la agricultura protegida la tasa de cambio fue de 36.87% , lo cual indica un crecimiento positivo acelerado. Los cambios también se observan en los mapas temáticos de uso de suelo y vegetación (Figuras 4 y 5).

CUADRO 3.
Tasa de cambio de uso de suelo y balance de cambios, años 1984 y 2018.

Uso de suelo	Superficie (1984)		Superficie (2018)		Dinámica de cambio (ha)	Tasa de cambio de uso de suelo
	ha	%	ha	%		
Agricultura	3963.96	48.84	3980.83	49.05	Aumento en 16.86	0.012
Agricultura protegida	0.000	0.00	310.58	3.82	Aumento en 310.58	36.874*
Asentamientos humanos	300.14	3.69	661.90	8.15	Aumento en 361.76	2.353
Bosque	3851.24	47.45	3162.03	38.96	Disminuyó en 689.21	-0.578
Total	8115.35	100.00	8115.35	100.00		

Elaboración propia.

*Para el caso del cálculo de la tasa de cambio de uso de suelo en agricultura protegida se utilizó de referencia el dato del año 2003 donde se identificó el inicio del establecimiento de esta categoría de análisis.

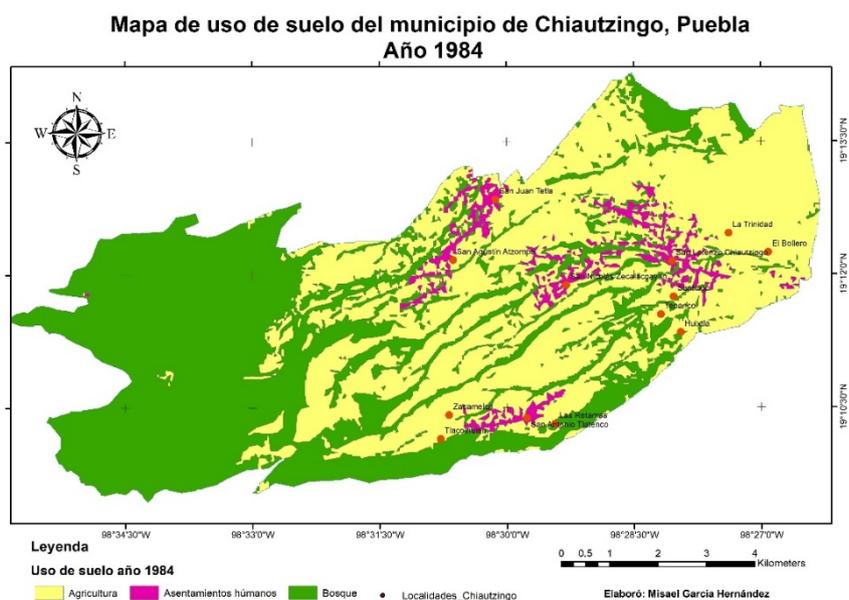


FIGURA 4.
Mapa de uso de suelo y vegetación del municipio de Chiautzingo, Puebla en 1984.
Fuente: Elaboración propia.

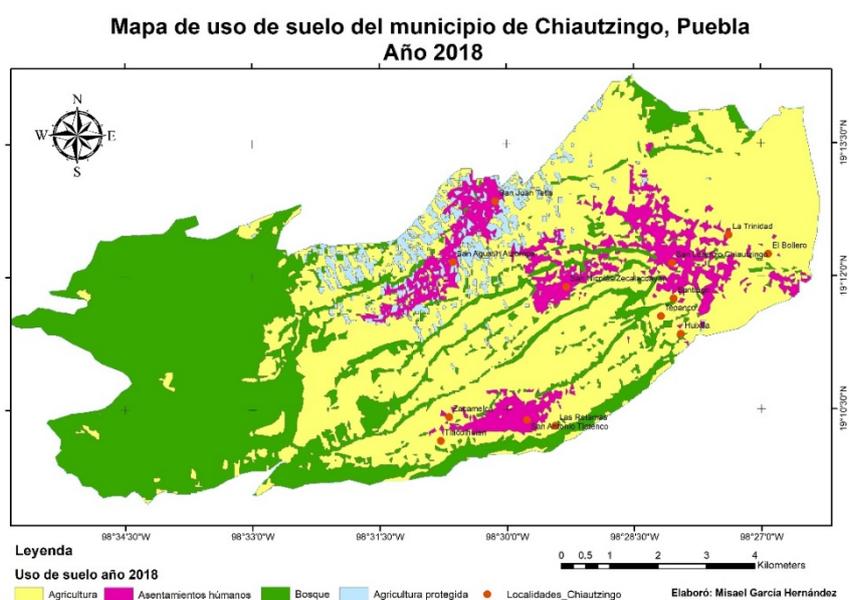


FIGURA 5.

LITERATURA CITADA

- 'Camacho, S., Juan, P., Pineda, B., Cadena, V., Bravo, P. L. C. y Sánchez, L. 2015. Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques* 21(1). pp. 93-112 <https://doi.org/10.21829/myb.2015.211435>
- Córdoba, V. C. y León, S.T. 2013. Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca - Colombia). Universidad Nacional de Colombia.
- FAO. 1998. Encuestas agrícolas con múltiples marcos de muestreo: Programa de encuestas agropecuarias basadas en diseños de muestreo con marco de área o doble marco de elección de área y de lista. 2 10. pp.1-32

- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Términos y definiciones. Documento de trabajo 144/s. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y JRC. 2012. Cambio de uso de las tierras forestales mundiales 1990-2005. Documento Forestal 169 FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. Roma, FAO.
- Gómez, A., R. 1970. Introducción al muestreo. Tesis de Maestría en Ciencias en Estadística. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Chiautzingo, Puebla [en línea]. Clave geoestadística 21001. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Anuario estadístico y geográfico de Puebla. México: INEGI. 952 p. ISBN 978-607-739-987-2 [en línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Manual para la Difusión y Aplicación de la Norma Técnica sobre Domicilios Geográficos. Dirección general de geografía y medio ambiente. Aguascalientes, Ags.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2000. Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo y D.J. Dokken (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, 377 p.
- Lambin, E. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*. 21(3). pp.375-393
- Mas, J., Velázquez, A. y Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental*. 1(1). pp. 23-39
- Ministerio del ambiente. 2010. Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una efectiva gobernabilidad del agua en Ecuador. Gobierno de Ecuador.
- López, V., Balderas, P., Chávez, M., Juan, P. y Gutiérrez C. 2015. Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA Ergo Sum*, 22 (2): pp. 136-144
- Rivera, B., Aceves, L. A., Arrieta, A., Juárez, J. F., Méndez, J. M. y Ramos, C. 2016. Evidencias del cambio climático en el estado de Tabasco durante el periodo 1961-2010. *Rev. Mex. Cienc. Agríc* vol.7 spe 14 Texcoco feb./mar. 2016.
- Rodríguez, A. 2007. Cambio climático agua y agricultura. Dirección de Desarrollo Rural Sostenible-IICA. Edición N.1. II Etapa.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2014). Diagnóstico del Programa de Manejo de Tierras para la Sustentabilidad Productiva. Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables, Ciudad de México, México.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz, G. J. R., Mayorga, S. R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., Palacio, J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, núm. 62, 2002, 21-37 pp. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México.