



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.755>

Artículo

Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas

Land cover and land use change in the *Soconusco* region, state of *Chiapas*

Rosa Elena Escobar Flores¹ y Miguel Ángel Castillo Santiago^{1*}

Abstract

The *Soconusco* region is described as one of the most productive agricultural regions in the state of *Chiapas*, where high biodiversity areas threatened by land use change are still preserved. The objective of this work was to analyze the trajectories of land cover and land use change in three watersheds in this region over a 25-year period. Satellite images from 1990, 2000, and 2015 were classified. Results show a significant loss of natural vegetation (forests, mangroves, and secondary vegetation) and the expansion of human settlements. Different processes of change were identified in each of the assessed landscapes: Coast, Plain and Highlands. In the Plain, the predominant land use change was the replacement of basic crops by agricultural plantations. In the Highland and Coast landscapes, where significant forest remnants are found, the most evident change was deforestation. Although the region experienced strong increases in population density and growth of urban areas, the areas dedicated to staple crop production have remained unaltered. The pattern of land cover change indicates that the study region is undergoing a process of agricultural intensification and urbanization.

Key words: Deforestation, agricultural intensification, oil palm, loss of agroforestry systems, urbanization, land use.

Resumen

El Soconusco se caracteriza por ser una de las regiones agrícolas más productivas del estado de Chiapas, en la que aún se conservan zonas de alta biodiversidad amenazadas por el cambio de uso del suelo. El objetivo de este trabajo fue analizar las trayectorias del cambio en la cobertura y usos del suelo en tres cuencas de dicha región durante un período de 25 años. Se clasificaron imágenes de satélite de 1990, 2000 y 2015. Los resultados mostraron una significativa pérdida de la vegetación natural (bosques, manglares y vegetación secundaria), además de la expansión de los asentamientos humanos. Se identificaron procesos diferentes de cambio en cada uno de los paisajes evaluados: Costa, Planicie y Sierra. En la Planicie, el cambio de uso de suelo predominante fue la sustitución de cultivos básicos por plantaciones agrícolas. En los paisajes de Sierra y Costa, donde hay remanentes importantes de bosques, el cambio más evidente fue la deforestación. A pesar de que en la región se registraron fuertes incrementos en la densidad poblacional y en las áreas urbanas, las zonas dedicadas a la producción de cultivos básicos se han mantenido sin modificaciones. El patrón de cambios en la cobertura de suelo indica que la región de estudio está en un proceso de intensificación de la agricultura y de la urbanización.

Palabras clave: Deforestación, intensificación de la agricultura, palma de aceite, pérdida de sistemas agroforestales, urbanización, uso de suelo.

Fecha de recepción/Reception date: 23 de marzo de 2020

Fecha de aceptación/Acceptance date: 17 de febrero de 2021

¹Colegio de la Frontera Sur. Departamento de Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: mcastill@ecosur.mx

Introducción

Las modificaciones en la cobertura, en especial por la deforestación, y los cambios de usos del suelo (CCUS) son algunos de los procesos que contribuyen al cambio climático global, a la pérdida local de biodiversidad y al incremento en la vulnerabilidad frente a los desastres naturales (Cochard y Delzon, 2013; Newbold *et al.*, 2016).

De 1990 al 2000, México presentó tasas de deforestación cercanas a 190 000 ha año⁻¹, esta cifra ha disminuido, ligeramente, en fechas recientes; de tal manera que de 2010 al 2015, se registraron disminuciones de la cobertura arbórea cercanas a 149 000 ha año⁻¹ (FAO, 2015). Los usos agrícolas también se han modificado, en muchos paisajes rurales de países en desarrollo se evidencia la pérdida de la agricultura tradicional en beneficio de usos del suelo más intensivos; lo que se ha fomentado, en gran medida, por la demanda de materias primas (Vliet *et al.*, 2012).

En la literatura especializada, las causas del cambio en la cobertura y uso del suelo se clasifican en dos grandes grupos denominados factores directos o causas próximas, y factores de raíz, indirectos o causas subyacentes (Challenger y Dirzo, 2009; Rautner *et al.*, 2013). Las causas próximas se refieren a las actividades que tienen un efecto directo en la cobertura y en el uso del suelo; por ejemplo, expansión de la ganadería o de la frontera agrícola; mientras que, las causas subyacentes corresponden a las fuerzas que operan en un contexto más amplio, generalmente externas al área de estudio, pero que afectan la toma de decisiones de los agentes locales (Klooster, 2003; Grau y Aide, 2008; Defries *et al.*, 2010).

En un meta-análisis sobre deforestación en el trópico, Geist y Lambin (2002) concluyen que la agricultura migratoria y el crecimiento poblacional son los factores próximos más citados; aunque es muy difícil generalizar sobre los procesos que conducen a la pérdida de cobertura arbórea, debido a las particularidades socioambientales de cada región (Corona *et al.*; 2016; Calzada *et al.*; 2018).

Los mapas de la cobertura del suelo y el análisis de estadísticas productivas pueden sugerir hipótesis respecto al papel de los factores relacionados con el cambio en la cobertura y la naturaleza de las causas subyacentes asociadas (Park y Lee 2016;

Ayanlade y Howard 2017). Sin embargo, para una buena interpretación de dichos cambios es recomendable tener mapas con una resolución temática y espacial con la cual se capten los procesos de interés; esto es particularmente deseable en regiones con paisajes complejos, es decir aquellos con relieve accidentado o en donde la intensidad de los cambios en el uso del suelo resulta en paisajes diversos y dinámicos. El enfoque de clasificación de imágenes satelitales basado en objetos ha sido relevante, debido a que permite integrar en el análisis información contextual y conocimiento experto (Flanders *et al.*, 2003), evita la presencia de píxeles aislados (efecto sal y pimienta) y se establecen relaciones entre los objetos de la imagen con los rasgos del terreno. La primera etapa de la clasificación por objetos es la segmentación; esto es, la delimitación de regiones discretas con píxeles que poseen valores relativamente similares (Gao, 2009). En una segunda etapa, se realiza la asignación de etiquetas o clases a los segmentos mediante alguno de los clasificadores disponibles.

En el presente trabajo se aplicó el enfoque de clasificación basado en objetos para obtener mapas de cobertura del suelo en tres fechas (1990, 2000 y 2015) de una zona con una intensa dinámica de cambio de uso del suelo. El objetivo planteado fue identificar tendencias y patrones espaciales del cambio de uso del suelo en un período de 25 años.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La región económica denominada Soconusco se localiza al sur del estado de Chiapas, en los municipios Mazatán, Tapachula, Tuxtla Chico, Frontera Hidalgo, Suchiate, Metapa y Cacahoatán; en conjunto, los siete municipios suman una extensión territorial de 2 032 km² y abarcan tres cuencas hidrográficas: las de los ríos Coatán, Cahoacán y Puerto Madero (Figura 1). La zona se ubica en un intervalo altitudinal de 0 a 4 100 m, incluye serranías, lomeríos y llanuras aluviales (INEGI, 2001); los climas predominantes son el cálido subhúmedo y el templado húmedo. La

conjunción de los elementos altitudinales y climáticos dio lugar a una gran variedad de ecosistemas que incluyen manglares en llanuras aluviales; selvas medias subperennifolias en las partes medias y lomeríos; bosques mesófilos de montaña y bosques de pino en las serranías. Además, favoreció un óptimo desarrollo de las actividades agrícolas y ganaderas; los cultivos de café, mango y plátano ocupan una porción importante de este territorio y están entre los más comercializados a nivel nacional e internacional (Flores, 2019).

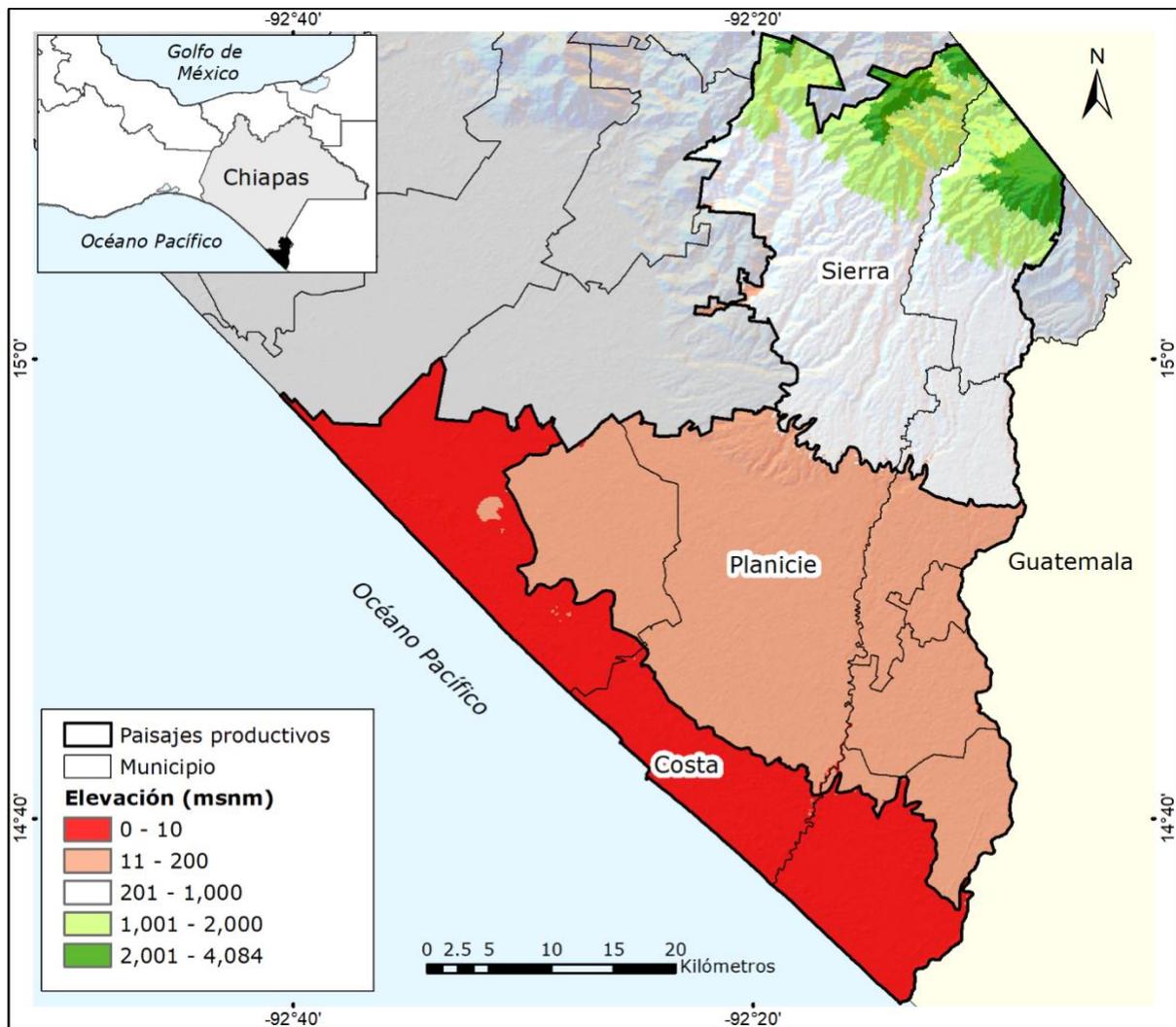


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Clasificación de imágenes de satélite

Se elaboraron tres mapas de cobertura y uso del suelo correspondientes a los años 1990, 2000 y 2015; en su proceso de construcción, primero se realizó una clasificación automatizada y otra de fotointerpretación.

Se usaron tres imágenes *Landsat* descargadas del portal www.glovis.usgs.gov, cuyas fechas de adquisición correspondieron a la de la temporada de secas (enero a abril) para obtener escenas libres de nubes (*Path* 021, *Row* 051): *Landsat* 5 TM 10 de enero de 1990, *Landsat* 7 ETM 15 de febrero de 2000 y *Landsat* 8 OLI 15 de abril de 2015. Como material de apoyo se utilizaron ortofotos del año 1996, un modelo digital de altitudes con un tamaño de pixel de 30 m e imágenes de alta resolución consultadas en la plataforma *Google Earth*. Adicionalmente, de marzo a mayo del 2015 se realizaron salidas de campo en 100 sitios de control, cuyo criterio de selección fue totalmente dirigido, con el propósito de obtener información suficiente para definir las muestras de entrenamiento con las cuales se calibraron los algoritmos de la clasificación.

La información recabada en cada sitio fue la siguiente: 1) posición geográfica en coordenadas UTM (tomadas con navegador GPS *Garmin eTrex20x*); 2) tipo de cobertura y uso de suelo; 3) exposición del terreno (con brújula, *Naturehike*, modelo NH15A003-E); 4) y fotografías del sitio (cámara *Canon Powershot Elph 18*). Los datos de campo también se utilizaron para definir la leyenda de los mapas de cobertura y uso del suelo (Cuadro 1).



Cuadro 1. Descripción de la leyenda utilizada en la clasificación e interpretación de las imágenes de satélite.

Categorías generales	Clases de cobertura y usos del suelo	Descripción
Vegetación natural y seminatural	Bosques	Vegetación arbórea en buen estado de conservación. Incluye al Bosque Mesófilo de Montaña, Bosque de coníferas y el Bosque tropical Subperennifolio
	Manglar	Vegetación arbórea resistente a condiciones salinas propias de las transiciones tierra-mar.
	Vegetación Hidrófila	Vegetación no leñosa asociada a cuerpos de agua, se incluyen Popal y Tular
	Bosque perturbado	Incluye a las áreas de vegetación secundaria arbórea (acahuales), bosques perturbados y sistemas agroforestales de café bajo sombra.
Plantaciones	Cafetal	Plantaciones de café que no utilizan árboles de sombra.
	Mango	
	Plátano	Plantación agrícola
	Palma de aceite	
Cultivos	Cultivos	Usos agrícolas del suelo que incluyen a los cultivos de temporal, cultivos de riego, pastizales cultivados.
Asentamientos humanos	Asentamientos humanos	
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	
Otros	Sin vegetación aparente	Zonas en las que aparentemente no existe alguna cobertura vegetal en la superficie del suelo. Principalmente bancos de arena y caminos.

Para la clasificación supervisada se utilizó un enfoque orientado a objetos, que consta de dos etapas; en la primera se dividió la imagen en una serie de regiones (segmentos o polígonos); y en la segunda, se les asignaron identificadores de acuerdo con las clases de cobertura del suelo descritos en la leyenda. Para la creación de los segmentos se consideraron, conjuntamente, las características espectrales y espaciales de la imagen; se usó el algoritmo “*edge*” de *ENVI 5.1* (ENVI, 2015) que requiere la calibración de dos parámetros: “*Scale level*” y “*Merge level*”, los cuales varían de 0 a 100. *Scale level* controla el tamaño de los segmentos, mientras que *Merge level* permite fusionar segmentos adyacentes similares.

Se realizaron ensayos con diferentes valores de los dos parámetros, la combinación de *Scale Level* = 50, y *Merge Level* = 80 fue la que visualmente produjo los segmentos del tamaño más adecuado; es decir, que delimitaban claramente los rodales manteniendo un número mínimo de ellos.

A los mapas resultantes de la clasificación supervisada de las imágenes de los tres años (1990, 2000 y 2015), se les aplicó un posprocesamiento consistente en una fase de fotointerpretación para identificar los tipos de plantaciones agrícolas como la palma de aceite, plátano y mango. En esta fase se emplearon como material de apoyo las ortofotos del año 1996, las imágenes de *Google Earth* y los datos procedentes de los recorridos de campo.

Para obtener un estimador del nivel de error temático en los mapas, se empleó un diseño de muestreo aleatorio estratificado; con este enfoque se distribuyeron espacialmente, sobre toda la región de estudio, 100 puntos o sitios de muestreo; en cada uno de ellos se fotointerpretó el tipo de cobertura y uso del suelo con imágenes de alta resolución de *Google Earth*TM. Este conjunto de datos fue diferente e independiente al empleado en la calibración de los clasificadores. El cálculo del error se hizo comparando el grado de coincidencia entre los sitios de muestreo y el mapa generado a partir de la clasificación supervisada; se siguió la metodología de análisis propuesta por Olofsson *et al.* (2014). La estimación del error temático solo se aplicó en el mapa de 2015, ya que la disponibilidad de imágenes de alta resolución para los años, 1990 y 2000 fue limitada.

Caracterización de los cambios en la cobertura y uso de suelo

Con el propósito de obtener matrices de cambio se llevó a cabo un análisis de sobreposición de mapas; para ello, se emplearon solo dos mapas derivados de la clasificación supervisada, pero agrupados de acuerdo con las categorías generales descritas en el Cuadro 1. Las matrices de cambios obtenidos correspondieron al intervalo completo 1990-2015.

Para tener una interpretación más clara sobre los cambios y procesos relevantes en los últimos 25 años, se definieron tres paisajes de acuerdo con las características del relieve y los aspectos productivos identificados en la Cuenca (Figura 1).

El primer paisaje, denominado Costa, corresponde a las llanuras aluviales que se localizan entre 0 y 10 msnm, que se caracteriza por la presencia de humedales. La actividad productiva predominante corresponde a la ganadería y en menor medida, las plantaciones agrícolas. El siguiente paisaje, la Planicie, comprende principalmente a las áreas ubicadas entre 11 y 200 msnm, con pendientes ligeras; aquí se llevan a cabo la mayor parte de las actividades agropecuarias: cultivos agrícolas de temporal y de riego, pastizales cultivados y las plantaciones agrícolas de mango, plátano y palma de aceite. Por último, en altitudes entre 201 y 4 100 m se localiza la Sierra, en donde, frecuentemente, las pendientes del terreno son pronunciadas; la fisiografía prevaleciente en esta zona favorece la distribución de los remanentes de bosques, y las condiciones son propicias para el cultivo de café practicado como sistema agroforestal o bajo sombra.

Resultados

Clasificación de imágenes

La exactitud global del mapa 2015 fue de 92 %, un nivel aceptable para los mapas de cobertura del suelo. En el Cuadro 2 se presentan los niveles de exactitud del usuario y del productor para cada una de las clases de cobertura del suelo del año 2015. La mayoría de las clases se identificaron con alta confiabilidad (exactitud ≥ 0.78) con excepción de los Cafetales, los cuales con frecuencia evidenciaron una respuesta espectral similar a la de Bosques perturbados; lo derivó en una baja exactitud del productor. Dado el bajo nivel de fiabilidad calculada, el área de Cafetales podría ser casi cinco veces mayor que el área estimada por la clasificación; a pesar de ello, se decidió mantenerlos como clase independiente, ya que su extensión es mínima.

Cuadro 2. Resultados de la evaluación de la exactitud del mapa de cobertura del suelo 2015.

Categoría	Cobertura	Exactitud usuario	Exactitud productor	Área original (ha)	Área ajustada (ha)	Intervalo de confianza
Vegetación natural y semi-natural	Bosques	0.78	1	6 869	5 343	± 1 358
	Manglar	0.83	1	7 464	6 220	± 2 438
	Vegetación acuática	1	1	6 434	6 434	± 0
	Bosque perturbado	0.83	0.9	60 490	56 186	± 20 644
Plantaciones	Cafetal	0.83	0.14	1 986	11 737	± 19 771
	Plantación mango	0.83	1	16 060	13 383	± 5 246
	Plantación plátano	1	1	11 196	11 196	± 0
	Plantación palma	1	1	854	854	± 0
Cultivos	Cultivos	1	1	76 757	76 757	± 0
Asentamientos humanos	Asentamientos humanos	1	1	12 679	12 679	± 0
Otros	Sin vegetación	1	1	1 176	1 176	± 0
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	1	1	1 515	1 515	± 0

N = 100

No fue posible evaluar la exactitud de los mapas de los otros dos años (1990 y 2000), debido a la escasez de imágenes de alta resolución; además se usaron las mismas muestras de entrenamiento (o la mayoría de ellas) para las tres imágenes, por lo que se asumió un nivel de error similar en los tres mapas.

En el Cuadro 3 se resumen los resultados de las clasificaciones de las imágenes satelitales para los años 1990, 2000 y 2015. Se observa que la categoría Cultivos (agricultura de riego y de temporal anual, y pastizales) fue la predominante. Esta cobertura de suelos tuvo una disminución consistente en los períodos 1990 - 2000 y 2000-2015, pero el mayor decremento se registró en el último, cuando de ocupar 45 % de la superficie pasó a 38 %. Un comportamiento similar se observó en la categoría que incluye a las coberturas naturales y seminaturales, aunque en este caso la tasa más alta de pérdida ocurrió de 1990 a 2000.



Cuadro 3. Superficies de los tipos de cobertura y uso de suelo de la zona de estudio en los años 1990, 2000 y 2015.

Categorías de cambio	Clases de cobertura	1990		2000		2015		Tasa de cambio de uso de suelo	
		ha	%	ha	%	ha	%	1990-2000	2000-2015
Vegetación natural y semi-natural	Bosques	9 218	4.5	7 655	3.7	6 869	3.4	-1.8	-0.7
	Manglar	9 071	4.4	7 654	3.7	7 464	3.7	-1.7	-0.2
	Vegetación Hidrófila	6 741	3.3	6 116	3	6 434	3.2	-1	0.3
	Bosque perturbado	66 099	32.4	62 047	30.5	60 490	29.7	-0.6	-0.2
Plantaciones	Café	246	0.1	778	0.4	1 986	0.9	12.2	6.4
	Mango	2 854	1.4	8 789	4.3	16 060	7.9	11.9	4.1
	Plátano	8 694	4.3	9 766	4.8	11 196	5.5	1.2	0.9
	Palma de aceite	0	0	0	0	854	0.4		-100
Cultivos	Cultivos	93 637	45.9	91 780	45.1	76 757	37.7	-0.2	-1.2
Asentamientos humanos	Asentamientos humanos	4 011	1.9	6 377	3.1	12 679	6.2	4.7	4.7
	Sin vegetación	1 814	0.9	1 230	0.6	1 176	0.6	-3.8	-0.3
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua	1 289	0.6	1 473	0.7	1 515	0.7		

Las plantaciones agrícolas y otros tipos mostraron un incremento constante en los dos períodos analizados. Referente a la última categoría, destaca el acelerado crecimiento de los asentamientos humanos, los cuales duplicaron su extensión en los últimos 15 años.

Procesos de cambio por tipo de paisaje

En la Figura 2 se exhibe la distribución espacial de los cambios en la cobertura de suelo para las tres fechas de análisis. Destaca el gran crecimiento de las plantaciones agrícolas, que incluye no solo el aumento del área ocupada, sino también la mayor dispersión. También se aprecia el cambio en extensión de la ciudad de Tapachula, el asentamiento humano más grande de la zona.

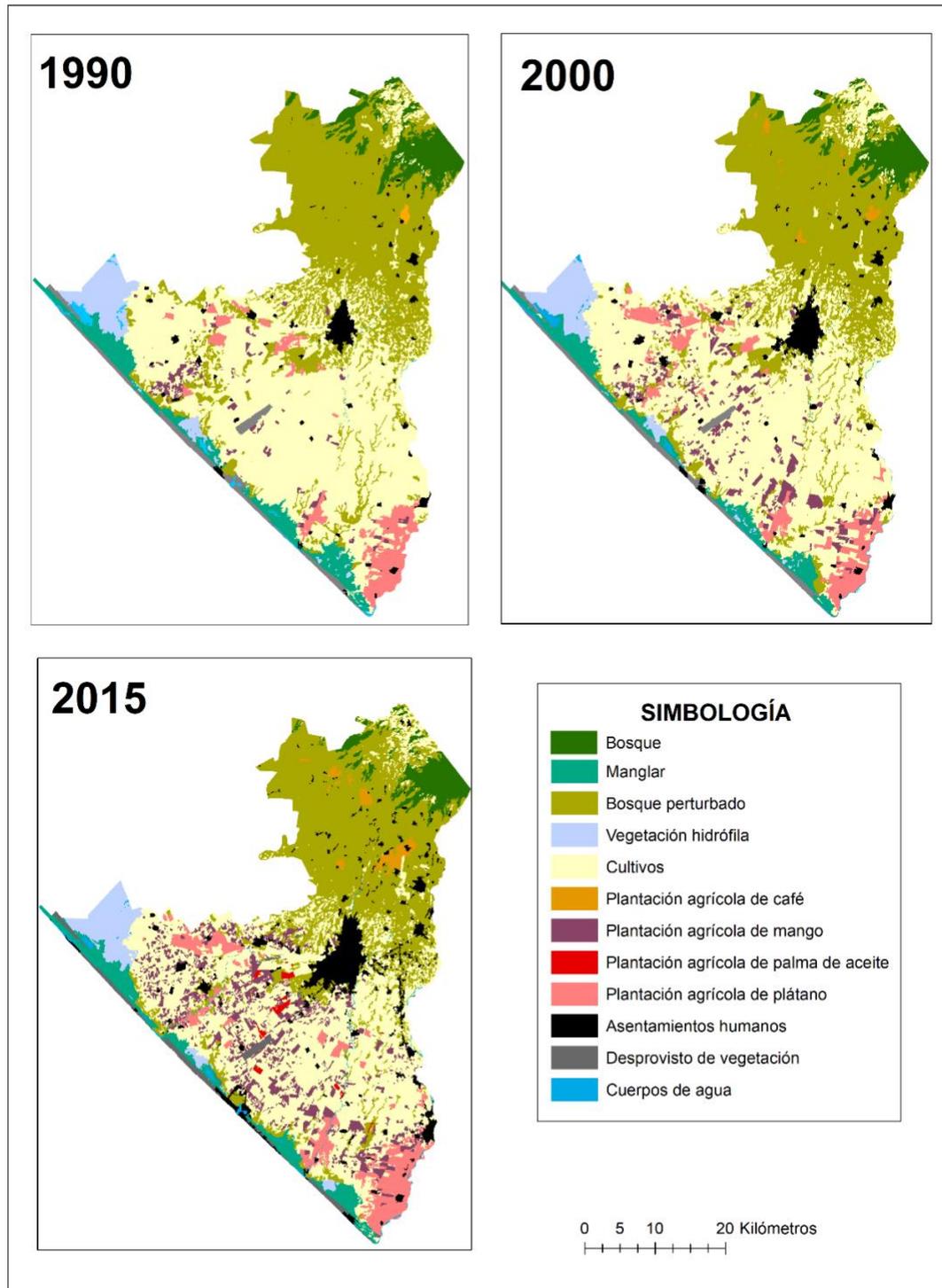


Figura 2. Distribución espacial de la cobertura y usos de suelo de los años 1990, 2000 y 2010.

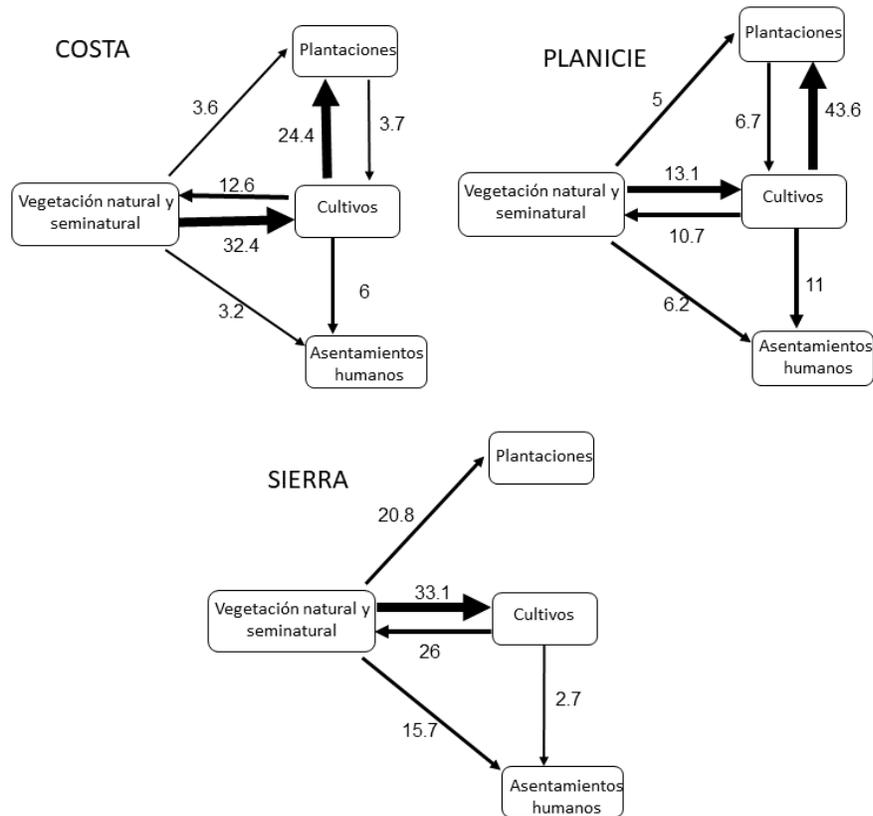
Las matrices de cambio (Cuadro 4) son el resultado de la sobreposición de mapas y aportan información sobre las pérdidas y ganancias en la cobertura del suelo; pero lo más importante, es que permiten conocer las transiciones o los tipos de cobertura del suelo que sustituyen a la original. En el Cuadro 4 se muestran dichas matrices para los tres paisajes productivos; los números representan hectáreas.

Cuadro 4. Matrices de cambio 1990-2015 por tipo de paisaje productivo (ha).

		1990				
		Veg. natural y seminatural	Cultivos	Plantaciones	Asentamientos	Cuerpos de agua
Costa 2015	Veg. natural y seminatural	15 228	923	15	106	195
	Cultivos	2 371	6 953	274	196	9
	Plantaciones	262	1 789	2 041	14	2
	Asentamientos	231	439	22	1 049	39
	Cuerpos de agua	154	165	73	44	513
Planicie 2015	Veg. Natural y seminatural	6 791	3 925	330	19	0
	Cultivos	4 828	53 688	2 480	181	11
	Plantaciones	1 836	16 027	5 936	147	0
	Asentamientos	2 260	4 043	242	3 382	0
	Cuerpos de agua	100	201	105	2	67
Sierra 2015	Veg. Natural y seminatural	51 327	2 273	79	20	0
	Cultivos	2 896	2 809	0	1	0
	Plantaciones	1 818	1	159	5	0
	Asentamientos	1 374	234	6	556	0
	Cuerpos de agua	23	3	0	0	11

Las columnas muestran las categorías al inicio del período y las hileras las permanencias (en negritas) y los cambios al final.

La Figura 3 se elaboró con los datos de las matrices y presentan de forma esquemática los procesos de cambio dominantes. En la Costa, los cambios predominantes fueron de Cultivos a Plantaciones (1 789 ha) y Asentamientos humanos (371 ha). La Vegetación natural evidenció pérdidas y ganancias, pero en términos netos hubo un decremento de estas áreas, las cuales fueron ocupadas por Cultivos; de acuerdo con el Cuadro 3 y Figura 2, los tipos de vegetación afectados fueron la Vegetación hidrófila, los manglares y algunos remanentes del Bosque perturbado.



El grosor de la flecha indica la magnitud del cambio. Los números muestran la contribución porcentual de cada transición, el total (100 %) es la suma de todas las áreas que sufrieron un cambio de cobertura entre 1990 y 2015. Solo se muestran los principales cambios.

Figura 3. Procesos dominantes de cambio de cobertura del suelo en los tres paisajes productivos, en el período 1990-2015.

En la Planicie, se concentran los sistemas productivos de valor económico más alto para la región del Soconusco: las plantaciones de mango, plátano y palma de aceite, además de los principales centros de población. El proceso dominante en esta zona fue la sustitución de Cultivos por Plantaciones (16 026 ha).

En la Sierra predominan fragmentos con vegetación forestal y sistemas agroforestales de café; los cambios que se registraron con más frecuencia fueron la sustitución de la Vegetación natural y seminatural por Cultivos.

Discusión

Los mapas de cobertura y uso del suelo

Los resultados de los mapas muestran varios aspectos a destacar en los cambios observados en los paisajes durante el período de análisis: deforestación, sustitución las áreas de cultivos agrícolas por plantaciones y la expansión de las áreas urbanas.

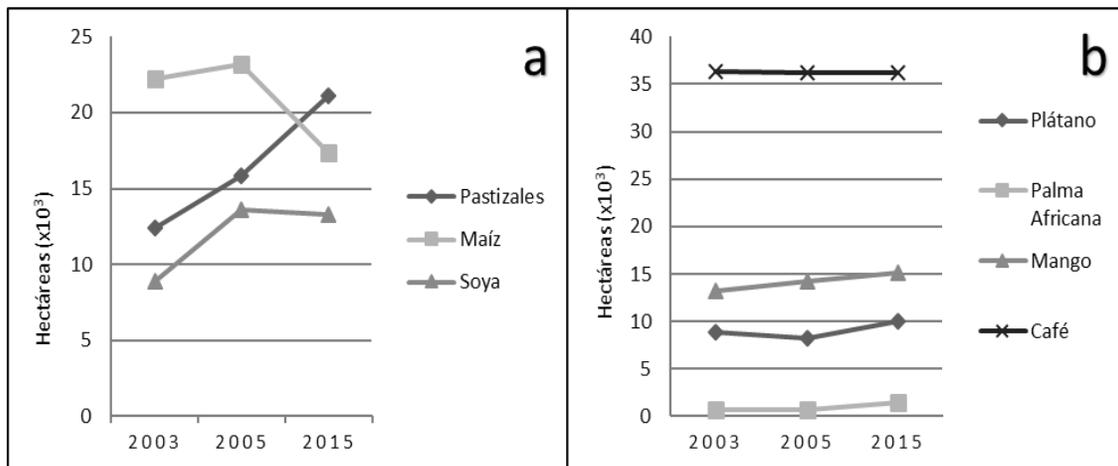
La deforestación es un proceso importante en el área de estudio, aunque no de la magnitud que se observa en otras regiones del país (Ellis *et al.*, 2021), pero sí afectó a tipos de vegetación como los bosques mesófilos de montaña y los manglares, los cuales son importantes no solo por su diversidad biológica, sino también por su papel clave en la mitigación del cambio climático (Adame *et al.*, 2018).

Frecuentemente, investigaciones realizadas a nivel internacional (Bürgi *et al.*, 2004; Belay y Mengistu 2019; Tuffour-Mills *et al.*, 2020) y nacional (Mas y Flamenco, 2011; Rosete-Vergés *et al.*, 2014; Calzada *et al.*, 2018) coinciden en afirmar que los principales procesos de cambio se deben a la conversión de bosques y vegetación secundaria a usos agrícolas y ganaderos; en esta región, debido sus características climáticas, también se registró otro proceso: la deforestación por la pérdida de sistemas agroforestales de café bajo sombra.

Dado su moderado impacto ambiental, tradicionalmente se ha considerado que los sistemas agroforestales de café pueden coexistir en las regiones de alta biodiversidad, lo que ayuda a su conservación; sin embargo, la permanencia de estos sistemas se sustenta en un frágil equilibrio en el que los precios del grano (Jurjonas *et al.*, 2016) o las plagas (Henderson, 2019) son un detonador para la pérdida o degradación de la cobertura forestal. Es probable que el crecimiento de las plantaciones de café sin sombra responda al fenómeno observado por Henderson (2019) en otras regiones de

Chiapas, en donde para el combate a la roya se han sustituido variedades de café sensibles a ese hongo por otras de mayor resistencia, pero que no requieren de la sombra de los árboles.

El reemplazo de las áreas de cultivos agrícolas con plantaciones fue otro de los cambios observados; en este sentido, las estadísticas de producción agropecuaria del SIAP (2020) confirman el patrón de cambio de uso del suelo observado en los mapas. Los datos de la producción agrícola muestran una disminución en la superficie del maíz (Figura 4), que pasó de 22 223 ha en el año 2003 a 18 048 ha en 2014, una tendencia similar se observa en la producción de la soya; en tanto que los pastizales tuvieron un fuerte crecimiento, al pasar de 12 378 ha a 18 149 ha; los cultivos perennes en general presentaron un ligero incremento en sus extensiones, excepto el café y el cacao (SIAP, 2020).

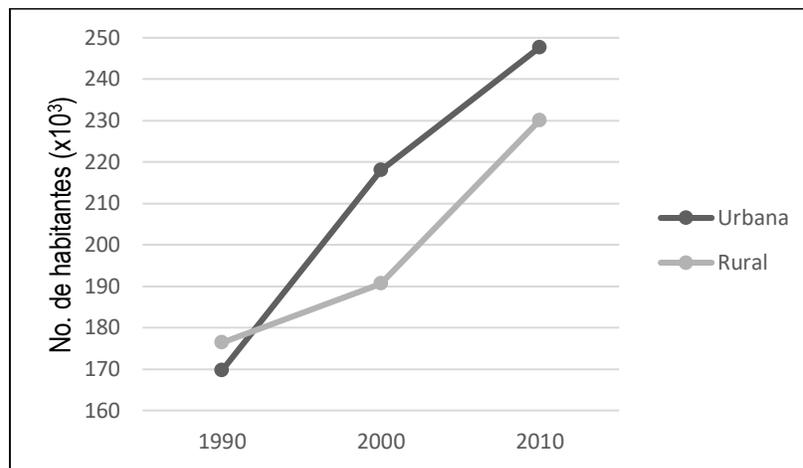


Fuente: SIAP (2020).

Figura 4. Superficie de cultivos anuales a) y perennes b).

Este patrón de disminución de áreas dedicadas a la producción de cultivos básicos parece relacionarse con el fenómeno observado a nivel nacional, respecto a una creciente dependencia de la importación de granos básicos como efecto del Tratado de Libre Comercio (Valencia *et al.*, 2019).

Finalmente, la expansión de las áreas urbanas observada en los mapas, también coincide con los datos censales, ya que de 1990 a 2010 la región experimentó un moderado crecimiento demográfico, con una tasa de crecimiento poblacional de 1.63 %, que representó 346 000 hab en 1990 y 477 800 en 2010 (INEGI, 1990; INEGI, 2010); crecimiento que se concentró en las áreas urbanas (Figura 5). A nivel cartográfico, lo cual se reflejó en una expansión de los asentamientos humanos, la superficie de esta categoría se triplicó, pues pasó de 4 000 a 12 000 ha, principalmente como resultado de la expansión de la ciudad de Tapachula.



Fuente: Censos de Población y Vivienda de INEGI (1990, 2000 y 2010).

Figura 5. Crecimiento histórico de la población en los municipios del área de estudio. Fuente:

Transformaciones productivas por tipo de paisaje

El proceso dominante en la Costa fue la pérdida de vegetación natural y seminatural por la expansión de los Cultivos y las Plantaciones agrícolas. Los datos de producción agrícola obtenidos del SIAP (2020) confirmaron un fuerte crecimiento de los pastizales cultivados en el municipio de Suchiate (de 600 a 5 000 ha) y una fuerte deforestación en el periodo estudiado. La rápida expansión de estas actividades a zonas de Vegetación hidrófila genera preocupación, ya que incrementa el riesgo de deterioro o deforestación de los manglares (Barrasa, 2017).

En la Planicie, los procesos de cambio dominantes fueron la conversión de cultivos agrícolas en plantaciones agrícolas (plátano, mango, palma de aceite). La palma de aceite es un producto atractivo para los agricultores por la demanda creciente que tiene en el mercado de la industria alimentaria, el incremento en los precios y por los programas públicos que apoyan su establecimiento (Fletes-Ocón y Bonnano, 2015; Castellanos, 2018).

En el ámbito nacional, Chiapas es el estado con mayor superficie cultivada con palma de aceite, con un poco más de 45 000 ha (SIAP, 2020), las cuales se ubican en las regiones económicas: Selva, Costa y Soconusco; asimismo, existen 11 plantas extractoras de aceite, seis de ellas ubicadas en el Soconusco (Castellanos, 2018).

Aparentemente, los procesos de deforestación observados en la Sierra se deben a la conversión de las áreas forestales en cultivos agrícolas anuales (Cortina-Villar *et al.*, 2012) y a la transformación de cafetales de sombra (sistema agroforestal) a plantación de café sin sombra (Henderson, 2019). De acuerdo con los mapas generados en el presente estudio, en 1990 existía una superficie de 200 ha de café sin sombra, que se cuadruplicó para el año 2015; cifra que puede ser, incluso, superior debido a la alta confusión espectral que se registró en esta clase (Cuadro 2).

Las evidencias citadas en otros trabajos apuntan en esa misma dirección. Henderson (2019) y Jurjonas *et al.* (2016) consideran que los sistemas agroforestales de café son muy susceptibles a las variaciones de precios y a las enfermedades. En años recientes, la roya del café afecta, principalmente, a los sistemas agroforestales (Henderson, 2019); por lo que, entre las estrategias para enfrentarla se ha promovido el uso de variedades de cafeto resistentes al patógeno, pero que no requieren de la sombra que proporciona el dosel forestal (Jha *et al.*, 2011); lo anterior se ha traducido en una pérdida de la cobertura arbórea, hecho que coincide con la disminución de los Bosques perturbados que se observó en el presente estudio.



Conclusiones

Los mapas con alto detalle espacial y temático permiten una mayor comprensión de los procesos de cambios de uso del suelo; además de, cuantificar las trayectorias de cambio es posible generar hipótesis sobre las posibles causas de la transformación del paisaje.

El patrón de cambios en la cobertura de suelo, así como las estadísticas agropecuarias y demográficas indican que la región de estudio está inmersa en un proceso de intensificación de la agricultura y de la urbanización. Resulta preocupante, también, la tendencia en la pérdida de Vegetación natural y seminatural, dentro de la que se incluyen los manglares y los sistemas agroforestales.

Agradecimientos

Al Fondo Sectorial INEGI-CONACYT por el financiamiento otorgado mediante el proyecto "Análisis espacio-temporal de la vulnerabilidad del paisaje utilizando percepción remota y métodos espaciales (210080)"; al Ecosur por los apoyos proporcionado para los trabajos de campo a través del proyecto 1106311262 Innovación Socio ambiental GIEZCA y a Edith Mondragón por la edición de los mapas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Rosa Elena Escobar Flores: registro de datos en campo, elaboración de los mapas y redacción del documento; Miguel Ángel Castillo Santiago: definición de la metodología, revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- Adame, M. F., C. J. Brown, M. Bejarano, J. A. Herrera-Silveira, P. Ezcurra, J. B. Kauffman and R. Birdsey. 2018. The undervalued contribution of mangrove protection in Mexico to carbon emission targets. *Conservation Letters* 11:e12445. Doi:10.1111/conl.12445.
- Ayanlade, A. y M. T. Howard. 2017. Understanding changes in a Tropical Delta: A multi-method narrative of landuse/landcover change in the Niger Delta. *Ecological Modelling* 364: 53–65. Doi:10.1016/j.ecolmodel.2017.09.012.
- Barrasa G., S. 2017. De montaña, milpa y cañaveral. Transformaciones percibidas de los paisajes en la costa de Chiapas. *Investigaciones geográficas* 83: 95-109. Doi:10.14350/rig.54775.
- Bürgi, M., A. M. Hersperger and N. Schneeberger. 2004. Driving forces of landscape change – current and new directions. *Knee Surgery and Related Research* 30(3): 261–268. Doi: 10.5792/ksrr.17.008.
- Belay, T. and D. A. Mengistu. 2019. Land use and land cover dynamics and drivers in the Muga watershed, Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 15:100249. Doi: 10.1016/j.rsase.2019.100249.
- Challenger, A. y R. Dirzo. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. *In: Capital Natural de México, vol. II. Estado de conservación y tendencias de cambio.* Conabio. México, D.F., México. pp.37-73.
- Calzada, L., J. A. Meave, C. Bonfil and F. Figueroa. 2018. Lands at risk: Land use/land cover change in two contrasting tropical dry regions of Mexico. *Applied Geography* 99: 22-30. Doi: 10.1016/j.apgeog.2018.07.021.
- Castellanos N., A. 2018. Palma de aceite en tierras campesinas: la política de las transformaciones territoriales en Chiapas, México. *Revista Pueblos y fronteras digital* 13:e-357. Doi: 10.22201/cimsur.18704115e.2018.v13.357.

- Cochard, H. and S. Delzon. 2013. Hydraulic failure and repair are not routine in trees. *Annals of Forest Science* 70(7): 659–661. Doi: 10.1007/s13595-013-0317-5.
- Corona, R., L. Galicia, J. L. Palacio-Prieto, M. Bürgi and A. Hersperger. 2016. Local deforestation patterns and driving forces in a tropical dry forest in two municipalities of southern Oaxaca, Mexico (1985-2006). *Investigaciones Geográficas* 91:86-104. Doi: 10.14350/rig.50918.
- Cortina-Villar, S., H. Plascencia-Vargas, R. Vaca, G. Schroth, Y. Zepeda, L. Soto-Pinto and J. Nahed-Toral. 2012. Resolving the conflict between ecosystem protection and land use in protected areas of the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. *Environmental Management* 49:649–662. Doi: 10.1007/s00267-011-9799-9.
- Defries, R. S., T. Rudel, M. Uriarte and M. Hansen. 2010. Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience* 3(3): 178–181. Doi:10.1038/ngeo756.
- Flanders, D., M. Hall-Beyer and J. Pereverzoff. 2003. Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29(4): 441–452. Doi:10.5589/m03-006.
- Flores, M. L., 2019. Los alcances en la producción agrícola chiapaneca. Una reflexión sobre la soberanía alimentaria en la región. *Región y Sociedad* 31:e1177. Doi:10.22198/rys2019/31/1177.
- Ellis, E. A., A. Navarro-Martínez and M. García-Ortega. 2021. Drivers of forest cover transitions in the Selva Maya, Mexico: Integrating regional and community scales for landscape assessment. *Land Degradation and Development* 32(7):1–20. Doi: 10.1002/ldr.3972.
- ENVI. 2015. Feature Extraction with Example-Based Classification Tutorial. <https://www.harrisgeospatial.com/docs/FXExampleBasedTutorial.html> (20 de mayo 2015).
- Fletes-Ocón, H. y A. Bonanno. 2015. Respuestas a la crisis de la globalización neoliberal: intervención del Estado en la producción de aceite de palma en Chiapas, México. *Carta Económica Regional* 27(116): 5–35.

https://www.researchgate.net/publication/311583943_Respuestas_a_la_crisis_de_la_globalizacion_neoliberal_intervencion_del_estado_en_la_produccion_de_aceite_de_palma_en_Chiapas_Mexico/ (20 de mayo de 2015).

Gao, J. 2009. Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery I. McGraw-Hill.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/browse/digital-analysis-of-remotely-sensed-imagery> (27 de julio de 2015).

Geist, H. J. and E. F. Lambin. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience* 52(2): 143-150. Doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2.

Grau, R. H. and M. Aide. 2008. Globalization and Land-Use Transitions in Latin America. *Ecology and Society* 13(2): 16.
<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art16/> (21 de mayo de 2021).

Henderson, T. 2019. La roya y el futuro del café en Chiapas. *Revista Mexicana de Sociología* 81: 389-416.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001. Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Conjunto nacional escala 1:1000 000, serie I.
<https://datos.gob.mx/busca/dataset/conjunto-de-datos-vectoriales-fisiograficos-continuo-nacional-escala-1-1-000-000-serie-i> (15 de enero de 2015).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1990. Censo General de Población y Vivienda 1990.
<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/> (18 de mayo de 2021).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Censo General de Población y Vivienda 2000. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/#Tabulados> (18 de mayo de 2021).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. Censo General de Población y Vivienda 2010. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Tabulados> (18 de mayo de 2021).

- Jha, S., C. M. Bacon, S. M. Philpott, R. A. Rice, V. E. Mendez and P. Läderach. 2011. A Review of Ecosystem Services, Farmer Livelihoods and Value Chains in Shade Coffee Agroecosystems. *In*: Campbell, B. W. and Ortíz L., S. (eds.). Integrating agriculture, conservation and ecotourism: examples from the field. Springer Science & Business Media. Dordrecht, Netherlands. pp. 141–208. Doi: 10.1007/978-94-007-1309-3.
- Jurjonas, M., K. Crossman, J. Solomon and W. López. 2016. Potential Links Between Certified Organic Coffee and Deforestation in a Protected Area in Chiapas, Mexico. *World Development* 78:13–21. Doi: 10.1016/j.worlddev.2015.10.030.
- Klooster, D. 2003. Forest Transitions in Mexico: Institutions and Forests in a Globalized Countryside. *The Professional Geographer* 55(2):227–237. Doi:10.1111/0033-0124.5502010.
- Mas J., F. y A. Flamenco S. 2011. Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTrópico* 5(1): 1–24. Doi:10.2967/jnumed.114.147413.
- Newbold, T., L. N. Hudson, A. P. Arnell, S. Contu, A. Palma, S. Ferrier, S. Hill, A. J. Hoskins, I. Lysenko, H. R. Phillips, V. J. Burton, C. W. Chng, S. Emerson, D. Gao, G. Pask H., J. Hutton, M. Jung, K. Sanchez O., B. I. Simmons, S. Whitmee, J. P. Scharlemann, A. Purvis and H. Zhang. 2016. Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science* 353(6296):288-291. Doi:10.1126/science.aaf2201.
- Olofsson, P., G. M. Foody, M. Herold, S. V. Stehman, C. E. Woodcock and M. A. Wulder. 2014. Good Practices for Estimating Area and Assessing Accuracy of Land Change, *Remote Sensing of Environment* 148:42-57. Doi:10.1016/j.rse.2014.02.015.
- Park, J. and J. Lee. 2016. Detection of land use/land cover changes using remotely-sensed data. *Journal of Forestry Research* 27(6): 1343–1350. Doi:10.1007/s11676-016-0270-x.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2015. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2015. ¿cómo están cambiando los bosques en el mundo? Segunda edición. Roma. Italia. 54p
[https://snigf.cnf.gob.mx/wpcontent/uploads/The_Global_Forest_Resources_Assessment_\(FRA\)/Evaluacion_de_los_recursos_forestales_mundiales_FRA-%202015.pdf](https://snigf.cnf.gob.mx/wpcontent/uploads/The_Global_Forest_Resources_Assessment_(FRA)/Evaluacion_de_los_recursos_forestales_mundiales_FRA-%202015.pdf) (15 de abril de 2015)

Rautner, M., M. Leggett and F. Davis. 2013. Pequeño Libro de las Grandes Causas de la Deforestación. Programa Global Canopy: Oxford. Ed Global Canopy. Oxford, UK. 118 p

Rosete-Vergés F., J. L. Pérez-Damián, M. Villalobos-Delgado, E. N. Navarro-Salas, E. Salinas-Chávez y R. Remond-Noa. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. Maderas y Bosques 20(1): 21–35. Doi: 10.21829/myb.2014.201173.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2020. Reporte de siembras y cosechas por cultivo, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. datos entre 2004 y 2020.

http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.do (18 de mayo de 2021).

Tuffour-Mills, D., P. Antwi-Agyei and P. Addo-Fordjour. 2020. Trends and drivers of land cover changes in a tropical urban forest in Ghana. Trees, Forests and People 2. Doi: 10.1016/j.tfp.2020.100040.

Valencia R., R., H. Sánchez B. y D. Robles O. 2019. Soberanía Alimentaria de granos básicos en México: un enfoque de cointegración de Johansen a partir del TLCAN. Análisis Económico 34(87): 223-248.



Vliet, N., O. Mertz, A. Heinemann, T. Langanke, U. Pascual, B. Schmook and A. Ziegler. 2012. Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. *Global Environmental Change* 22(2): 418–429. Doi: 10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* [Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](#), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.