

DINÁMICA DEL USO DE SUELO Y VEGETACIÓN EN PAISAJES ALTAMENTE MODIFICADOS POR ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN EL SUR DE MÉXICO

LAND USE SOIL AND VEGETATION DYNAMIC IN LANDSCAPES HIGHLY MODIFIED BY AGRICULTURAL ACTIVITIES IN SOUTHERN MEXICO

 SUSANA MAZA-VILLALOBOS^{1,2*},  EDITH ALVARADO SOSA,  ANA DEYSI ARRIAZA RODRÍGUEZ,  FRANCISCO INFANTE³,  MIGUEL ÁNGEL CASTILLO-SANTIAGO⁴

¹ Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciudad de México, México.

² El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente. Grupo de Agroecología, Tapachula, Chiapas, México.

³ El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente. Grupo de Ecología de Artrópodos y Manejo de Plagas, Tapachula, Chiapas, México.

⁴ El Colegio de la Frontera Sur. Departamento de Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano. Grupo Analítica Espacial y Ciencia de Datos, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.

*Autor para correspondencia: smazavm@gmail.com

Resumen

Antecedentes: La identificación de los usos de suelo particulares (*e.g.*, tipo de cultivo) que generan la pérdida de los diferentes tipos de vegetación, las tendencias de degradación y la pérdida de biodiversidad ha sido limitadamente explorada en estudios sobre dinámica del uso de suelo en paisajes agropecuarios.

Preguntas: ¿Cuáles son las superficies ocupadas por los diferentes usos de suelo y vegetación? ¿cuál es la permanencia, tasa de cambio y tasa de pérdida de los diferentes usos de suelo y vegetación? ¿qué usos de suelo dirigen los cambios observados?

Área de estudio y fechas: Soconusco, Chiapas, México. Período: 2000-2017.

Métodos: Se usaron imágenes de *Google Earth*, el método de fotointerpretación y la verificación en campo para generar mapas de cambio de uso de suelo y vegetación. Se crearon matrices de permanencia/transición y se calcularon tasas de cambio relativo y de pérdida de superficie para los diferentes usos de suelo y vegetación.

Resultados: La zona de actividad agropecuaria y la vegetación natural fueron las categorías con mayor superficie y permanencia. La mayor tasa de ganancia anual de superficie se observó en la zona de actividad agropecuaria, influenciada por el incremento de cultivos de importancia económica (mango y palma africana). La mayor tasa de pérdida anual se registró en la vegetación natural, y fue dirigida principalmente por la transición de tular y de vegetación secundaria hacia zonas agropecuarias.

Conclusiones: Ante la limitada formación de vegetación secundaria y la alta permanencia/incremento de zonas agropecuarias, es importante considerar acciones que diversifiquen estos paisajes agropecuarios.

Palabras clave: agrobiodiversidad, conservación, deforestación.

Abstract

Background: The identification of land-uses (*e.g.*, crop types) that generate the loss of different vegetation types, degradation trends, and biodiversity loss has been poorly explored in most studies on land-use dynamics in agricultural landscapes.

Questions: What areas are occupied by the different land-use types and vegetation? What are the permanence, rate of change, and loss rate of the different land-use types and vegetation? What kind of land-uses and vegetation is driving the observed changes?

Study area and dates: The Soconusco region of Chiapas, Mexico. Analysis period, 2000-2017.

Methods: Land-use cover maps were created using *Google Earth* images and employing the image interpretation method and field verification. Matrixes of permanence and transition were created, and relative change rates and loss area were calculated for the different land-uses types and vegetation.

Results: Agricultural activity and natural vegetation were the categories with the largest surface and permanence. The agricultural activity showed the highest annual rates of gain, and it was promoted by the expansion of economically important crops, mainly mango and the African oil palm. Natural vegetation had the highest annual loss rate, mainly for tular and secondary vegetation that changed to agricultural areas.

Conclusions: Considering the limited secondary forest formation and the high permanence and increment of agricultural areas, it is important to consider actions that diversify these agricultural landscapes.

Key words: agrobiodiversity, conservation, deforestation.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



El cambio de uso del suelo es uno de los factores más importantes que junto con el cambio climático provocan la pérdida de biodiversidad a nivel mundial (IPBES 2018). De manera general, para América Latina, la transformación de la vegetación arbórea a campos agropecuarios (*i.e.*, agricultura y ganadería) es la principal causa de la pérdida de los bosques (CEPAL 2021). Si bien la tasa de deforestación es alta, también se ha observado un incremento de cobertura forestal como resultado del abandono de campos agropecuarios, lo anterior puede ocasionar el desarrollo de vegetación secundaria, también llamada bosque secundario, cuando dentro de ésta se establecen árboles (Castillo-Santiago 2009). De manera general, actualmente la vegetación secundaria, *sensu lato*, representa la mayor parte de la cobertura vegetal en el mundo y es reconocida por su alta biodiversidad y servicios ambientales (FAO 2021, Queiroz *et al.* 2014, Rozendaal *et al.* 2019).

Para México se han registrado tasas anuales de deforestación entre 1 y 8 %, dependiendo de la región geográfica, el tipo de vegetación y el periodo de estudio. De igual manera, se ha documentado un fuerte reemplazo de los bosques por zonas agrícolas y urbanas, lo cual ha alterado negativamente la vegetación natural del país (Challenger & Dirzo 2008, Mas *et al.* 2009, Velázquez *et al.* 2002, Zamora-Elizalde *et al.* 2020). Si bien se tienen cifras sobre la pérdida o ganancia de cobertura vegetal por actividades agropecuarias (FAO 2021), poco se sabe de la dinámica de éstas a detalle (*i.e.*, considerando el tipo de cultivo o tipo de ganado que da lugar a la pérdida de los diferentes tipos de vegetación). Esta información es muy importante porque proporciona bases para identificar las tendencias de los procesos de degradación y la pérdida de biodiversidad de una región, lo que permite un mejor entendimiento de la dinámica de uso de suelo y de vegetación (Kolb & Galicia 2018, Van Lynden & Oldeman 1997). El conocimiento sobre los recursos naturales y su dinámica espaciotemporal, en un paisaje altamente modificado por actividades agropecuarias, puede ayudar a la toma de decisiones sobre el ordenamiento ecológico y el manejo de los recursos naturales para promover el desarrollo sustentable (Donald & Evans 2006). Por ejemplo, esos estudios permiten ubicar patrones espaciales de monocultivo que suponen una pérdida potencial de polinizadores, como lo ocurrido con las abejas solitarias en el sur de Francia, donde se constató un declive en su abundancia como resultado del incremento de los monocultivos en su entorno (Le Féon *et al.* 2013). Mediante este tipo de estudios también se pueden identificar sitios potenciales para acciones de restauración que eventualmente ayuden en la recuperación de los servicios ecosistémicos (*e.g.*, incrementar la dilución ambiental frente a plagas; Donald & Evans 2006), así como predecir las tendencias en el establecimiento o eliminación de algún tipo de uso de suelo o vegetación y las consecuencias derivadas de éstas (*e.g.*, aumento de especies invasoras, declive de polinizadores; Vasseur *et al.* 2013).

Con base en la limitada información que existe, a un nivel detallado, sobre el cambio de uso de suelo y vegetación en paisajes agropecuarios, y la carencia de estudios sobre el mismo tema en el sur de México, el objetivo general de esta investigación fue conocer la dinámica del uso de suelo y vegetación en un paisaje agropecuario durante un periodo de 18 años en la región fronteriza del Soconusco, Chiapas. Los objetivos particulares fueron: i) conocer las superficies ocupadas por los diferentes tipos de uso de suelo y vegetación, ii) analizar la permanencia y la tasa de cambio y de pérdida de los diferentes usos de suelo y vegetación en un lapso de 18 años, y iii) identificar los usos de suelo y vegetación que dirigen los cambios observados. Al respecto nuestras hipótesis fueron: i) debido a la importancia agropecuaria de la región, se esperaría que la mayor parte de la superficie estudiada esté representada por usos de suelo vinculados a esa actividad, ii) la permanencia, así como las tasas de cambio y las tasas de pérdida, presentarán variaciones en los usos de suelo y vegetación, en donde se observará un incremento de uso agropecuario y un decremento de la vegetación natural, y iii) debido a la creciente demanda de alimentos, a la histórica actividad agropecuaria y a la importancia económica de estas actividades en la región de estudio, se esperaría que el uso de suelo agropecuario genere los principales cambios de superficie.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se realizó en la parte baja de las cuencas de los ríos Huehuetán, Coatán, Cahocacán y Suchiate (15° 19' N de longitud y los 92° 44' W; [Figura 1](#)) ubicados en la región del Soconusco, Chiapas, México. La extensión total del área de estudio fue de 67,637.27 ha, y se ubicó entre 1-55 m sobre el nivel del mar, abarcando

parte de seis municipios: Frontera Hidalgo, Huehuetán, Huixtla, Mazatán, Suchiate y Tapachula. El área presenta climas cálido subhúmedo con lluvias en verano $Aw_1(w)$ y $Aw_2(w)$, con una precipitación en el mes más seco menor a 60 mm y un porcentaje de lluvia invernal menor a 5 % (García 1964). La temperatura media anual varía de 26.6 °C a 28.1 °C, con una precipitación anual de 1,578.2 mm y una humedad relativa entre 77 y 85 % (García 1964, SEMAV 2010a, b).

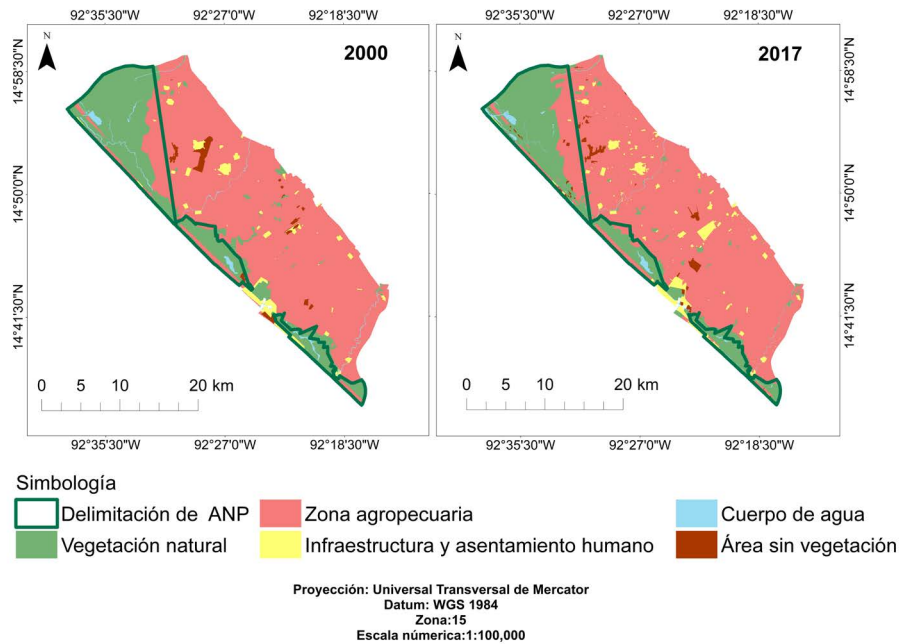


Figura 1. Mapa del área de estudio en el año 2000 y 2017.

Los principales tipos de vegetación son el bosque tropical subperennifolio, el bosque de galería, el manglar y la vegetación semiacuática (Rzedowski 2006, SEMAV 2010a, b). En esta zona se ubican tres áreas naturales protegidas, la Reserva de la Biosfera la Encrucijada y las reservas ecológicas estatales Cabildo-Amatal y Gancho-Murillo (INE-SEMARNAP 1999, SEMAV 2010a, b). Debido a que en el Soconusco existen condiciones adecuadas de precipitación y temperatura, así como una amplia disponibilidad de suelos fértiles, aquí se han desarrollado grandes fincas cafetaleras, plantaciones de frutas tropicales, cañaverales, así como ranchos ganaderos, entre otros, dando como resultado un paisaje altamente modificado por actividades agropecuarias. Las actividades productivas del área de estudio son la agricultura de temporal y de riego, la silvicultura, la ganadería y la pesca. Algunos cultivos representativos de esta zona son: el café, el maíz, el cacao, la caña de azúcar, el sorgo, el plátano, el ajonjolí, la sandía, el mango, la palma de aceite y el coco (SIAP 2021). De acuerdo con el INEGI (2005), el uso de suelo en el Soconusco es principalmente de agricultura (48.76 %) y pastizal cultivado (26.64 %).

Materiales. Para la región de estudio se generaron mapas de cambio de uso de suelo y vegetación empleando imágenes satelitales de alta resolución de *Google Earth* para los años 2000 y 2017. Si bien para la época seca se obtienen imágenes libres de nubosidades, en esta época algunas áreas de cultivo se encuentran en barbecho y si no se tiene cuidado en el análisis, se corre el riesgo de incluir erróneamente estas áreas en otras categorías de uso. Debido a lo anterior, también se analizaron imágenes tomadas hacia el final de la época de lluvias (*i.e.*, octubre, noviembre y diciembre) para cada uno de los años. En total se analizaron 70 imágenes, 38 para el año 2000 y 32 para el año 2017. El uso de múltiples imágenes ayudó a resolver las limitantes de la nubosidad e identificar de forma más precisa los diferentes usos de suelo y vegetación. Adicionalmente se usaron las capas de: Vegetación y Uso del suelo Serie

IV (2004) y Serie VII (2018) de INEGI, esta última obtenida de *Geoweb* Chiapas 3.0 (map.ceieg.chiapas.gob.mx/geoweb), para la identificación y la clasificación de los usos de suelo y vegetación. Cuando fue posible también se emplearon fotografías de *Google Street View* (dentro de las imágenes de *Google Earth*) para hacer observaciones más cercanas (de 1 a 3 m) a las áreas de interés, esto permitió aumentar la exactitud de la identificación y la clasificación de los usos de suelo y vegetación.

Métodos. Estas imágenes fueron procesadas (delimitadas y referenciadas geográficamente) en el programa *QGIS* v. 10.1. Para la elaboración de los mapas se empleó un proceso de fotointerpretación, delimitando los polígonos de forma manual. La escala empleada en la elaboración de los mapas fue de 1:4000, la fotointerpretación se realizó directamente en pantalla, a este nivel de detalle fue posible identificar la mayoría de los tipos de vegetación y usos del suelo; la unidad mínima cartografiada fue de 0.04 ha. Para trazar los polígonos se tomaron en cuenta características geométricas, tonalidad, textura, contexto y patrones espaciales (Blaschke 2010, Hay *et al.* 2008).

Posterior a la clasificación de los usos de suelo y vegetación se realizó la verificación en campo, seleccionando 20 puntos de muestreo al azar para cada clase definida. La verificación se hizo durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2018, empleando un geoposicionador satelital para ubicar el punto seleccionado. Para ubicar los puntos con mayor facilidad se usaron fotografías recientes de los caminos y las áreas circundantes empleando *Google Street View*. La verificación en campo consistió en caminar y hacer observaciones del uso de suelo y la vegetación presente alrededor del punto seleccionado (*i.e.*, radio aproximado de 100 m = 31,400 m²). Durante el recorrido se observó la estructura y la composición vegetal (*e.g.*, especies no nativas, especies frutales, especies de diferente desarrollo sucesional, diámetro y altura de árboles, número de estratos vegetales) así como la presencia de otros elementos (*e.g.*, pisoteo y boñigas de ganado, áreas quemadas, basura) que, en conjunto, permitieron ratificar o rectificar la clasificación hecha previamente con las imágenes. El cálculo de los estadísticos de la exactitud temática del mapa se realizó de acuerdo con la propuesta de Olofsson *et al.* (2013).

Después de realizar los ajustes necesarios, la clasificación final se exportó y procesó en *ArcMap* 10.1 para ajustar detalles. Para la validación cartográfica se desarrolló una base de datos geográficos (*geodatabase*) para crear una topología. Este proceso ayudó a garantizar la integridad de los datos y a validar que no existieran huecos entre los polígonos, bordes compartidos y sobreposiciones, y así reducir el margen de error. Como resultado de lo anterior se definieron 23 clases de uso de suelo y vegetación: la agricultura sin siembra, área sin vegetación, infraestructura y asentamiento humano, caña de azúcar, cuerpo de agua, cultivo mixto, cultivo no identificado, maíz, manglar, mango, marañón, palma africana, papaya, pastizal ganadero, plátano, popal, sabal, soya, tabaco, tular, vegetación de duna costera, vegetación ribereña y vegetación secundaria ([Material suplementario, Tabla S1](#)).

Tasas de cambio de tipos de uso de suelo y vegetación y matrices de permanencia y transición. Para cada una de las clases de tipos de uso de suelo y vegetación se calculó la tasa de cambio relativo (*tcr*) para el periodo de análisis 2000-2017, utilizando la propuesta de la FAO (1996) y presentando los resultados en porcentaje (ecuación 1), donde: S_1 = superficie en la fecha inicial; S_2 = superficie en la fecha final; y n = diferencia de años entre fecha inicial y final.

$$tcr = \left(\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Para conocer la tasa anual de pérdida de superficie (*tap*) para cada uno de los tipos de uso de suelo y vegetación se empleó la ecuación 2:

$$tap = (S_2 - S_1)/t \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde: S_1 = superficie en la fecha inicial, S_2 = superficie en la fecha final, t = periodo o tiempo analizado. En ambas tasas, los valores positivos significan ganancias y los negativos pérdidas. Finalmente, para conocer el cambio (pérdida o ganancia) de superficie entre las diferentes clases de tipos de uso de suelo y vegetación, se elaboró una

matriz de transición para el lapso estudiado realizando lo siguiente: 1) construcción de matrices de transición entre las distintas clases mediante una tabulación cruzada para el período 2000-2017, 2) generación de matrices de probabilidad de pertenencia para cada clase en el período estudiado con las matrices de transición y 3) cálculo de la probabilidad de transición (P_{ij}) para cada clase de la matriz siguiendo la ecuación 3. Donde: P_{ij} = es la probabilidad de que un área de categoría i pase a ser de la categoría j en el período observado (2000-2017); S_{ij} = es la superficie que realizó la transición de i a j durante el periodo observado, la cual se divide entre la superficie total del año inicial (en este caso 2000) de cada clase de uso de suelo o vegetación i . La suma total de las probabilidades de transición para cada clase de uso de suelo o vegetación es igual a uno, $\sum P_{ij}=1$.

$$P_{ij} = (S_{ij}) / \sum S_i \quad \text{Ecuación 3.}$$

Los análisis de datos se desarrollaron considerando los 23 tipos de uso de suelo (llamadas clases), así como cinco categorías más amplias: i) vegetación natural (original y secundaria); ii) zona agropecuaria (i.e., todos los cultivos); iii) infraestructura y asentamiento humano; iv) cuerpo de agua y v) área sin vegetación ([Material suplementario, Tabla S1](#)).

Resultados

La exactitud del mapa de 2017 fue de 94 %, considerando la clasificación en imagen, la verificación en campo y excluyendo la clase de cultivo no identificado ([Material suplementario, Tabla S2](#)). La mayoría de las clases presentaron valores altos de exactitud del usuario y del productor, solo en cuatro de ellas (caña, maíz, soya y tabaco) la exactitud del productor fue baja (≤ 0.52), en estos casos, el área estimada en el mapa subestimó el área calculada con los datos de verificación. Sin embargo, la superficie conjunta de estas cuatro clases representó aproximadamente 3.7 % del área de estudio, por lo que no impactó fuertemente en la exactitud temática global del mapa. La alta exactitud del mapa de 2017 respecto al año 2000 también pudo deberse al empleo de materiales y métodos similares en ambos años.

Tanto en el año 2000, como en el año 2017, la mayor superficie del área de estudio estuvo ocupada por la categoría de zona agropecuaria (48,755.9 ha y 49,445.6 ha, respectivamente), seguido por la de vegetación natural (15,044.4 ha y 13,980.4 ha, respectivamente; [Figura 1](#); [Material suplementario, Tabla S3](#)). En ambos años, a nivel de clase, para la zona agropecuaria, el cultivo de mango fue el de mayor superficie y para la vegetación natural fue el tular ([Tabla 1](#)).

Tabla 1. Tasas de cambio relativo (tcr) y tasa anual de pérdida de superficie (tap) en el período 2000-2017, por clase de uso de suelo y vegetación.

Clases	2000 (ha)	2017 (ha)	tcr (%)	tap (ha/año)
Área sin vegetación (Asv)	927.6	984.5	0.4	3.3
Cuerpo de agua (Ca)	890.8	786.0	-0.7	-6.2
Infraestructura y asentamiento humano (Iah)	1,959.9	2,382.0	1.2	24.8
^{Vn} Manglar (Mn)	4,355.1	4,115.3	-0.3	-14.1
^{Vn} Popal (Po)	97.4	2.4	-19.5	-5.6
^{Vn} Sabal (Sa)	22.7	22.0	-0.2	0.0
^{Vn} Tular (Tu)	6,864.3	5,891.4	-0.9	-57.2
^{Vn} Vegetación de duna costera (Du)	184.6	175.2	-0.3	-0.6
^{Vn} Vegetación ribereña (Ri)	187.2	153.8	-1.2	-2.0
^{Vn} Vegetación secundaria (Vs)	3,333.1	3,620.3	0.5	16.9
^{Za} Agricultura sin siembra (Ass)	10,888.4	12,058.8	0.6	68.8
^{Za} Cultivo mixto (Cm)	599.3	1,048.8	3.3	26.4

Clases	2000 (ha)	2017 (ha)	tcr (%)	tap (ha/año)
^{Za} Cultivo no identificado (Cni)	11,333.3	5,586.1	-4.1	-338.1
^{Za} Maíz (Mz)	48.7	592.7	15.8	32.0
^{Za} Mango (Mg)	12,201.9	14,875.9	1.2	157.3
^{Za} Palma africana (Pa)	213.4	1,232.6	10.9	60.0
^{Za} Papaya (Py)	102.2	584.9	10.8	28.4
^{Za} Pastizal (Ps)	8,692.4	7,313.6	-1.0	-81.1
^{Za} Plátano (Pt)	3,910.6	4,194.9	0.4	16.7
^{Za} Soya (Sy)	765.6	786.9	0.2	1.3
^{Za} Caña (Cñ)	0.0	1,064.7	No aplica	62.6
^{Za} Marañón (Mñ)	0.0	40.5	No aplica	2.4
^{Za} Tabaco (Tb)	0.0	65.1	No aplica	3.8

En paréntesis se presenta el acrónimo de la clase. Las clases sin subíndice señalan que el nombre de la categoría es el mismo que el de la clase, ^{Vn} indica que esa clase pertenece a la categoría vegetación natural y ^{Za} a la zona agropecuaria.

Tasa de cambio relativo (tcr) y tasa anual de pérdida de superficie (tap). De 2000 a 2017, se presentaron variaciones en la tcr y tap, observándose una tendencia en el incremento de tipos de uso de suelos antropogénicos. A nivel de categoría, las mayores tcr con valores positivos fueron observadas para la infraestructura y asentamiento humano (1.2 %). Si bien la zona agropecuaria tuvo la menor tcr (0.1 %) al mantener una superficie más o menos constante en este período de estudio ([Material suplementario, Tabla S3](#)), esta categoría fue la que presentó la mayor ganancia anual de superficie (40.6 ha/año; [Material suplementario, Tabla S3](#)). A nivel de clase, para la categoría de zona agropecuaria, la mayor tcr fue para el maíz (15.8 %), la palma africana (10.9 %) y la papaya (10.8 %); sin embargo, el cultivo de mango fue el de mayor ganancia anual de superficie (157.3 ha/año), seguido del área de agricultura sin siembra (68.8 ha/año) y la palma africana (60.0 ha/año; [Tabla 1](#)). Aunque las tcr con mayores valores negativos a nivel categoría se observaron en cuerpo de agua (-0.7 %) y la vegetación natural (-0.4 %), la pérdida anual de superficie fue mucho mayor en la categoría de vegetación natural (62.6 ha/año) que en la de cuerpo de agua (6.2 ha/año; [Material suplementario, Tabla S3](#)). Dentro de la categoría de vegetación natural, las tcr más negativas fueron para el popal (-19.5 %), la vegetación ribereña (-1.2 %) y el tular (-0.9 %), siendo el tular el de mayor pérdida anual de superficie (57.2 ha/año), seguido por el manglar (14.1 ha/año) y el popal (5.6 ha/año; [Tabla 1](#)).

Cambio, permanencia y transición entre los usos de suelo o vegetación. La matriz de cambio mostró que, para la zona agropecuaria, la mayor ganancia de cobertura se observó en el cultivo de mango y en la agricultura sin siembra. Mientras que el mayor aporte al cultivo de mango resultó de la transformación de 2,810.5 ha de cultivo no identificado, el aporte para la agricultura sin siembra provino de la transformación de 1,634.4 ha de cultivo no identificado ([Material suplementario, Tabla S4](#)). Para la categoría de vegetación natural, las mayores pérdidas de superficie que se observaron ([Material suplementario, Tabla S4](#)) provinieron de la transformación de vegetación secundaria a cultivo no identificado (302.7 ha) y a cultivo de mango (229.3 ha), así como de la transición de 359 ha de tular a cultivo no identificado y 194.2 ha a agricultura sin siembra. También es importante resaltar la transformación de 320.4 ha de manglar a vegetación secundaria ([Material suplementario, Tabla S4](#)); así como la contribución de la categoría zona agropecuaria, particularmente de las clases: pastizales (317.2 ha) y cultivo no identificado (227.8 ha), a la categoría de vegetación natural, específicamente a la clase de vegetación secundaria.

En relación con la permanencia relativa del área original (año 2000) las categorías con los valores más altos fueron: la zona agropecuaria (95 %), la infraestructura y asentamiento humano (83 %) y la vegetación natural (82 %; [Figura 2; Tabla 2](#)). A nivel de clase, en la zona agropecuaria, los cultivos de papaya, plátano y de mango presentaron

la mayor permanencia de superficie con 97, 73 y 64 %, respectivamente. Para la vegetación natural, las clases con mayor permanencia fueron el sabal (92 %), el tular (80 %) y el manglar (80 %; [Material suplementario, Tabla S5](#)). En contraste, solo el 10 % de la categoría área sin vegetación fue permanente ([Figura 2; Tabla 2](#)).

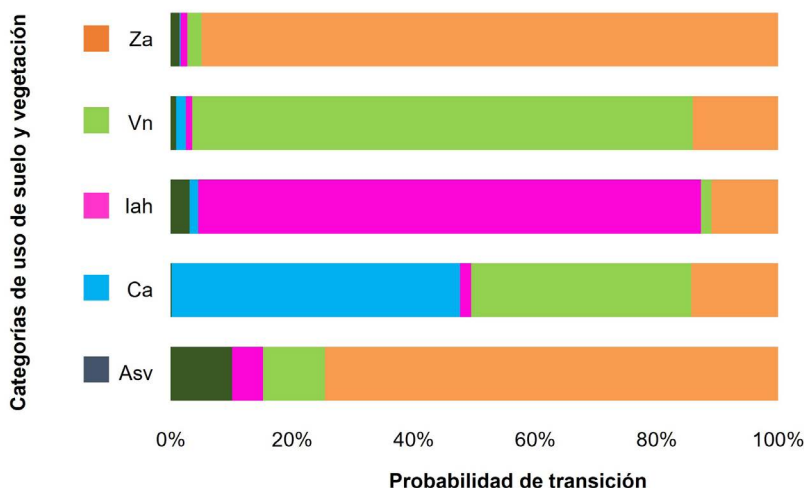


Figura 2. Probabilidades de transición de las categorías de usos de suelo y vegetación en el período 2000-2017. Asv, área sin vegetación; Ca, cuerpo de agua; lah, infraestructura y asentamiento humano; Vn, vegetación natural; Za, zona agropecuaria.

Tabla 2. Matriz de cambio/transición, 2000-2017, de la cobertura por categorías de uso de suelo y vegetación (Cate). Las cifras en letras negritas indican el área que permaneció sin cambios durante el período de estudio; los valores están dados en hectáreas.

		Año 2017					
Cate		Asv	Ca	Iah	Vn	Za	Total
Año 2000	Asv	93.9	0.0	47.0	94.6	692.0	927.6
	Ca	1.5	422.4	16.5	322.9	127.4	890.8
	Iah	61.1	27.3	1,622.4	33.0	216.1	1,959.9
	Vn	130.5	240.4	165.2	12,386.5	2,121.9	15,044.4
	Za	697.4	95.9	531.0	1,143.3	46,288.2	48,755.9
	Total	984.5	786.0	2,382.0	13,980.4	49,445.6	67,578.5

Asv, área sin vegetación; Ca, cuerpo de agua; Iah, infraestructura y asentamiento humano; Vn, vegetación natural; Za, zona agropecuaria.

Discusión

Al igual que lo que ocurre en diferentes regiones de México, nuestros resultados mostraron que las categorías predominantes por superficie fueron la zona agropecuaria, la infraestructura y asentamiento humano y la vegetación natural (Escobar-Flores & Castillo-Santiago 2021, Kolb & Galicia 2018, Velázquez *et al.* 2002, Zamora-Elizalde *et al.* 2020). La dominancia de la zona agropecuaria observada en ambos años de estudio estuvo dirigida principalmente por el cultivo de mango, el cual, no obstante haber tenido una tasa pequeña de cambio relativo, presentó la mayor ganancia anual en términos de superficie. Este fuerte incremento de cultivo de mango radica posiblemente en la alta derrama económica que representa para el país y el Estado. A nivel mundial, México es el quinto país productor y el primer exportador de mango (SAGARPA 2017) y Chiapas es el estado con mayor superficie cultivada. De hecho, en los municipios de las cuencas estudiadas se encuentra el 53.4 % de la superficie cultivada con mango para el estado

(SIAP 2020). En el ámbito estatal, el mango ocupa la cuarta posición de los cultivos que generan mayores ingresos económicos (SIAP 2020).

La gran importancia económica del mango puede ser el factor que explique la fuerte transformación de las áreas agropecuarias a este cultivo. En el presente estudio se observó que los cultivos de palma africana, las áreas de cultivo no identificado, el pastizal ganadero, las áreas de cultivo mixto y la zona agrícola sin siembra, son transformados en huertas de mango. Incluso, nuestros datos muestran que hay una transición de infraestructura y asentamientos humanos a cultivo de mango. Lo anterior probablemente se deba a la eliminación de pequeñas construcciones temporales (*i.e.*, de láminas) ubicadas dentro de los campos agropecuarios que son usadas para guardar material/maquinaria, o bien que sirven como casas para los trabajadores del terreno, y que justo, son derribadas para incrementar el área de siembra; lo anterior pudo ser verificado a través de las imágenes estudiadas. Aunque la contribución de superficie a actividades agropecuarias puede ser bajo (119.1 ha), este cambio señala la importancia que tiene este cultivo para los agricultores.

Otro de los cultivos que permitió una tasa anual de ganancia de superficie alta para la zona agropecuaria fue la palma africana. En 2017 el estado de Chiapas contribuyó con el 57.3 % de la producción nacional de este cultivo y los municipios de las cuencas aquí estudiadas contribuyeron con el 15.8 % de esa producción (SIAP 2017). El cultivo de palma ocupa el sexto lugar en términos de ingresos generados para Chiapas (SIAP 2020), lo cual ha llevado a un incremento significativo del área de cultivo desde el año 2000 (FEMEXPALMA 2020). En 2020 la palma africana fue el sexto cultivo con mayor superficie sembrada en Chiapas, después del maíz blanco, el café, el frijol, el maíz amarillo y el mango (SIAP 2020). De 2014 a 2019, la superficie de palma africana en México pasó de 76,318 ha a 112,452.13 ha y casi la mitad del área sembrada en 2019 estuvo en Chiapas (FEMEXPALMA 2020, SIAP 2020); en este sentido, se pronostica que, debido a la demanda mundial, la superficie con palma africana seguirá en aumento en el país. Para la zona del Soconusco, Chiapas, en donde se encuentran las primeras plantaciones de este cultivo para México (> 25 años), se espera una renovación de las plantaciones, así como un incremento del área sembrada. Adicionalmente, en el Soconusco se ubican siete de las 18 plantas de extracción de aceite de palma africana que existen en México (FEMEXPALMA 2021), lo cual beneficia a los productores de esta región al reducir los gastos de inversión (*e.g.*, transporte), haciendo al cultivo de palma rentable y atractivo para los agricultores.

La alta permanencia de superficie observada para el cultivo de plátano, incluso mayor que el cultivo de mango, puede deberse a dos factores, primero, su importancia económica ya que esta fruta se ubica dentro de los primeros cinco cultivos con mayor generación de ingresos económicos para el Estado (SIAP 2020, 2021). En los años 2000 y 2017, Chiapas ocupó el primer lugar nacional en términos de superficie cultivada y de producción de plátano (SIAP 2000, 2017), incluso en el año 2012 la región del Soconusco contribuyó con 70 % de la producción estatal de plátano y los municipios de las cuencas aquí estudiadas aportaron la mitad de esta producción (PRONATURA s.f.). Un segundo factor que puede explicar la alta permanencia de este cultivo puede asociarse a sus requerimientos ambientales. Para el establecimiento del plátano se necesitan terrenos más o menos planos, con buen drenaje y con una alta y frecuente disponibilidad de agua (INTAGRI 2018), debido a esto último, la mayor parte de los cultivos se ubica cerca de los ríos o en zonas con fuentes subterráneas de agua. Esta vinculación con cuerpos de agua dulce puede ser el factor que explique la alta permanencia observada de este tipo de cultivo, así como la limitada ganancia de superficie, en comparación con otros cultivos de alta importancia económica. En este sentido, Orozco-Ramírez y cols., (2022) muestran que factores biofísicos (*e.g.*, disponibilidad de agua y pendiente) resultan determinantes en la transición/permanencia de uso de suelo y vegetación, incluso por encima de factores socioeconómicos.

Para el caso de la vegetación natural, y en términos de superficie, la dominancia de esta categoría puede ser explicada por la conservación asociada a las áreas naturales protegidas ubicadas dentro del área de estudio: la Reserva de la Biosfera La Encrucijada y las Reservas Estatales Cabildo Amatal y Gancho Murillo. Estas áreas naturales protegidas albergan popales, vegetación de duna costera, vegetación ribereña, así como los sabales, los tulares y los manglares (INE-SEMARNAP 1999, SEMAV 2010a, b). Estas tres últimas clases de vegetación presentaron la mayor permanencia e incluso la mayor superficie (el tular y el manglar) en ambos años de estudio. Haber encontrado una gran área y una alta permanencia de vegetación madura (*i.e.*, no secundaria) dentro de la categoría de la vegetación

natural es alentador para la conservación y puede interpretarse como un buen resultado del establecimiento y la buena función de las áreas naturales protegidas en esta zona. La influencia de áreas naturales protegidas en el incremento o permanencia de vegetación natural ha sido reportada para otras regiones del país. Por ejemplo, en el estado de Hidalgo, la ganancia de vegetación natural del año 1992 a 2017 se vincula, entre otros factores, al decreto de la Reserva Estatal Cerros La Paila-El Xihuingo en 2009 (Zamora-Elizalde *et al.* 2020). En este mismo sentido, la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán en Jalisco, a pesar de mostrar una fluctuación entre la ganancia/permanencia/pérdida de vegetación natural del año de 2000 a 2008, mantuvo una gran superficie de vegetación conservada (Farfán-Gutiérrez *et al.* 2016). Otros instrumentos de conservación, como los Geoparques mundiales de la UNESCO, también muestran tener un efecto positivo en la ganancia/conservación de vegetación natural. Por ejemplo, en el Geoparque de la Mixteca Alta en Oaxaca, se observó que en el período de 1967 a 2020, hubo una ganancia de vegetación natural y un decremento de actividades agropecuarias (Orozco-Ramírez *et al.* 2022).

Aun y cuando en nuestra área de estudio la vegetación natural fue una de las categorías con mayor superficie (en 2000 y 2017) y con alto porcentaje de permanencia, esta categoría también presentó la mayor pérdida anual de área, patrón que estuvo determinado principalmente por la reducción del tular. Al respecto, la alta tasa de pérdida de superficie del tular puede ser resultado de los incendios provocados. En esta región los incendios son frecuentes y están vinculados con actividades de cacería ilegal (*e.g.*, tortugas para autoconsumo y venta), así como con actividades agropecuarias, como lo es el establecimiento de nuevas áreas de cultivo o incluso para ganadería estacional (Barrios-Calderón 2015); este tipo de actividades coincide con lo reportado para otras regiones de vegetación semiacuática en el país (SEMARNAT 2016), en donde a través de incendios provocados se busca ampliar la frontera agropecuaria. En este sentido y de manera adicional, nuestros resultados señalan que la segunda superficie más grande, de vegetación natural, que da lugar a zonas agropecuarias proviene de los tulares.

El decremento de la vegetación natural observado en este trabajo se debió principalmente a las actividades agropecuarias, lo cual coincide con Geist & Lambin (2002), quienes mencionan que, si bien la deforestación es resultado de una combinación e interacción de varios factores, las actividades agropecuarias son las que promueven principalmente la pérdida de los bosques en el trópico. Lo anterior ha sido registrado para otras regiones de Chiapas y de México (Escobar-Flores & Castillo-Santiago 2021, Farfán-Gutiérrez *et al.* 2016, Kolb & Galicia 2018, Velázquez *et al.* 2002, Zamora-Elizalde *et al.* 2020), incluyendo tipos de vegetación semiacuática como los tulares y popales (SEMARNAT 2016). El hecho de encontrar una marcada dominancia de cultivos comerciales como el mango, la palma africana y el plátano (*i.e.*, monocultivos de grandes extensiones, tecnificados y de alta importancia económica) y una baja presencia de cultivos mixtos (*i.e.*, agricultura diversificada en el mismo espacio a escala baja) concuerda con estudios que muestran una fuerte pérdida de la agricultura tradicional y poco intensiva (Van Vliet *et al.* 2012). La baja diversificación de usos agrícolas y ganaderos en paisajes agropecuarios ha mostrado tener efectos negativos sobre la diversidad de la fauna y la vegetación de esos ambientes, así como sobre los servicios ecosistémicos que esta biodiversidad ofrece (Isbell *et al.* 2017, Tschardtke *et al.* 2008).

Por otro lado, la contribución de la vegetación secundaria al incremento/mantenimiento de la superficie de vegetación natural parece ser temporal; nuestros resultados muestran una fuerte dinámica de transición hacia zonas agropecuarias, sobre todo hacia cultivos que representan fuertes ingresos económicos para la región, tal como se ha visto para otras zonas del trópico (Geist & Lambin 2002, Van Vliet *et al.* 2012) e incluso para esta misma región (Escobar-Flores & Castillo-Santiago 2021, Kolb & Galicia 2018). La vegetación secundaria en este estudio fue resultado del disturbio de los manglares y los tulares, así como del abandono de pastizales. Sin embargo, los resultados también mostraron una fuerte pérdida de vegetación secundaria por la conversión de ésta hacia cultivos no identificados, cultivo de mango y pastizales. Lo anterior hace suponer que la vegetación secundaria en esta región tiene un tiempo corto de regeneración natural, lo cual disminuye su potencial para desarrollar comunidades sucesionales avanzadas y complejas que pudieran servir como islas de biodiversidad en un mar de campos agropecuarios (Bhagwat *et al.* 2008, Kolb & Galicia 2018, Queiroz *et al.* 2014, Rozendaal *et al.* 2019, Tschardtke *et al.* 2002).

Contar con reservorios de biodiversidad y fomentar la agrobiodiversidad en ambientes altamente transformados por actividades agropecuarias y con alta dominancia de pocos cultivos, que cubren superficies grandes y continuas,

como lo observado en nuestro paisaje estudiado (*e.g.*, platanares con 1,288.25 ha y cultivos de mango con 1,062.75 ha), se vuelve indispensable para mantener y promover los servicios ecológicos. Territorios caracterizados por la presencia de pocos cultivos de gran y continua extensión, con ausencia o reducidos remanentes de vegetación natural que presentan limitada o nula conexión, generan paisajes empobrecidos, tanto en términos agronómicos (*i.e.*, agrobiodiversidad) como biológicos (*i.e.*, biodiversidad). Esta composición y configuración de paisaje impone limitaciones importantes a procesos ecológicos cruciales para el mantenimiento de la biodiversidad, incluyendo servicios ecosistémicos de aprovisionamiento (*e.g.*, producción de alimentos) y de regulación (*e.g.*, control de plagas y enfermedades, polinización) que son de interés para los agricultores. En este tipo de paisajes, los reservorios de biodiversidad pueden funcionar como filtros de plagas y enfermedades, fuentes de polinizadores, así como zonas de refugio temporal para la fauna benéfica (*e.g.*, enemigos naturales de las plagas; Báldi *et al.* 2013, Bhagwat *et al.* 2008, Bianchi *et al.* 2006, Le Féon *et al.* 2013, Tschardtke *et al.* 2002, 2008). Además, la conectividad entre elementos de vegetación natural (*e.g.*, cercanía/conexión de cercas vivas, remanentes de vegetación, árboles aislados) crea corredores biológicos que favorecen la movilidad de muchas especies benéficas, como los polinizadores o los enemigos naturales de las plagas (Le Féon *et al.* 2013). La vegetación natural también puede servir como barrera de protección, aumentando el efecto de dilución contra plagas/enfermedades o incluso funcionar como barrera física contra vientos o variaciones drásticas de temperatura o radiación solar, que pudieran dañar los cultivos comerciales (Donald & Evans 2006, Teuber *et al.* 2016). De esta manera, tener este tipo de reservorios puede repercutir positivamente en la obtención de mejores cosechas para los agricultores (Isbell *et al.* 2017). Finalmente, se ha observado que la diversificación en campos agropecuarios genera interacciones bióticas positivas para el cultivo, promoviendo el desarrollo de la especie cultivada y limitando el crecimiento de especies no deseadas (dos Santos *et al.* 2021), incluso la diversificación de cultivos es un seguro económico ante la reducción de la demanda de productos agrícolas por parte de los consumidores (Van Vliet *et al.* 2012).

Considerando que para el año 2050 se pronostica un aumento del 70 y el 100 % en la demanda mundial de productos agrícolas a nivel mundial (FAO 2011) y tomando en cuenta la tendencia de incremento y dominancia de áreas agropecuarias de manejo intenso y poco diversas (Van Vliet *et al.* 2012), como la observada en este estudio, es necesario evaluar la dinámica espaciotemporal del uso de suelo y vegetación a niveles más detallados en paisajes altamente agropecuarios. Lo anterior ayudaría a detectar los usos agropecuarios dominantes en cada región, así como su dinámica espaciotemporal, lo cual representa información básica para el diseño de estrategias de manejo que mitiguen los efectos negativos de la baja biodiversidad de estos paisajes.

Agradecimientos

A J.H. López Urbina y J.R. García Alfaro, técnicos de ECOSUR, unidad Tapachula por la asistencia otorgada. A los revisores anónimos y al editor de la sección de *Botanical Sciences* por los comentarios y sugerencias que mejoraron sustancialmente este artículo.

Material suplementario

El material suplementario de este trabajo puede ser consultado aquí: <https://doi.org/10.17129/botsci.3148>.

Literatura citada

- Báldi A, Batáry P, Kleijn, D. 2013. Effects of grazing and biogeographic regions on grassland biodiversity in Hungary - analyzing assemblages of 1200 species. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **166**: 28-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.03.005>
- Barrios-Calderón RJ. 2015. *Combustibles forestales y su relación con incendios en humedales costeros de la Reserva de la Biósfera La Encrucijada, Chiapas*. Msc. Thesis, El Colegio de la Frontera Sur.

- Bhagwat SA, Willis KJ, Birks HJB, Whittaker RJ. 2008. Agroforestry: A refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution* **23**: 261-267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.01.005>
- Bianchi FJJA, Booij CJH, Tscharntke T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **273**: 1715-1727. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Blaschke T. 2010. Object-Based Image Analysis for Remote Sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **65**: 2-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Castillo-Santiago MA. 2009. Análisis con imágenes satelitales de los recursos forestales en el trópico húmedo de Chiapas: un estudio de caso en Marqués de Comillas PhD. Thesis, El Colegio de la Frontera Sur.
- CEPAL [Comisión Económica para América Latina y el Caribe]. 2021. La pérdida de los bosques de América Latina y el Caribe 1990-2020: evidencia estadística. Temas estadísticos de la CEPAL, 2. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47151/1/S2100266_es.pdf (accessed March 14th, 2022).
- Challenger A, Dirzo R. 2008. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. In: Dirzo R, González R, March I, eds. *Estado de conservación y tendencias de cambio. Capital Natural de México II*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. pp. 37-73. ISBN: 978-607-7607-083
- Donald PF, Evans AD. 2006. Habitat connectivity and matrix restoration: The wider implications of agri-environment schemes. *Journal of Applied Ecology* **43**: 209-218. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01146.x>
- dos Santos D, Joner F, Shipley B, Teleginski M, Lucas RR, Siddique I. 2021. Crop functional diversity drives multiple ecosystem functions during early agroforestry succession. *Journal of Applied Ecology* **58**: 1718-1727. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13930>
- Escobar-Flores RE, Castillo-Santiago MA. 2021. Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* **12**: 46-69. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.755>
- FAO [Food and Agriculture Organization]. 1996. *Forest resources assessment 1990: survey of tropical forest cover and study of change processes*. Forestry paper 130. Rome, Italy: FAO. <https://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm#TOC> (accessed March 14th, 2022).
- FAO. 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia: <https://www.fao.org/3/i1688s/I1688S.pdf> (accessed March 14th, 2022).
- FAO. 2021. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal*. Roma, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/ca9825es>
- Farfán-Gutiérrez H, Rodríguez-Tapia G, Mas JF. 2016. Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía* **90**: 89-104. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.48600>
- FEMEXPALMA [Federación Mexicana de Palma de Aceite]. 2020. *Anuario Estadístico 2020*. http://femexpalma.com.mx/femexpalma ftp/anuario_estadistico_2020.pdf (accessed March 14th, 2022).
- FEMEXPALMA. 2021. *Anuario Estadístico 2021*. http://femexpalma.com.mx/femexpalma ftp/anuario_estadistico_2021.pdf (accessed March 14th, 2022).
- García E. 1964. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Series Libros, 6. DF, México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 97 pp.
- Geist HJ, Lambin EF. 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience* **52**: 143-150. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDE]2.0.CO;2)
- Hay GJ, Castilla G, Lang S. 2008. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline In: Blaschke Th, Lang S, Hay GJ, eds. *Object-based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Berlin: Springer Germany. pp. 75-89. ISBN: 978-3-540-77057-2
- INE-SEMARNAP [Instituto de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca]. 1999. Programa de Manejo Reserva de la Biosfera La Encrucijada. México, DF: INE-SEMARNAP. pp 184. <https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN09.pdf> (accessed March 14th, 2022).

- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. 2005. *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie III (continuo nacional)*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://geoportal.cona-bio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250ks3gw.html> (accessed August 27, 2022)
- INTAGRI [Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura]. 2018. Requerimientos de Clima y Suelos para el Cultivo de Banano. *Artículos Técnicos de INTAGRI, Serie Frutales* **33**: 1-3. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-banano> (accessed March 14th, 2022).
- IPBES [Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services]. 2018. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3237392>
- Isbell F, Adler PR, Eisenhauer N, Fornara D, Kimmel K, Kremen C, Letourneau DK, Liebman M, Polley HW, Quijas S, Scherer-Lorenzen M. 2017. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology* **105**: 871-879. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
- Kolb M, Galicia L. 2018. Scenarios and story lines: Drivers of land use change in southern Mexico. *Environment, Development and Sustainability* **20**: 681-702. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9905-5>
- Le Féon V, Burel F, Chifflet R, Henry M, Ricroch A, Vaissière BE, Baudry J. 2013. Solitary bee abundance and species richness in dynamic agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **166**: 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.020>
- Mas JF, Velázquez A, Couturier S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental* **1**: 23-39.
- Olofsson P, Foody GM, Stehman SV, Woodcock CE. 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment* **129**: 122-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Orozco-Ramírez Q, Lorenzen M, Fernández de Castro-Martínez G, Cruz-Ramírez MA. 2022. Factores sociales y biofísicos de la transición forestal en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta (1967-2020). *Investigaciones Geográficas* **108**: e60465. DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60465>
- PRONATURA. s.f. *Análisis de la Producción de Plátano, su Mercado y las Acciones de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en Chiapas*. http://www.pronatura-sur.org/web/docs/ANALISIS_DE_LA_PRODUCCION_DE_PLATANO.pdf (accessed March 14th, 2022).
- Queiroz C, Beilin R, Folke C, Lindborg R. 2014. Farmland abandonment: Threat or opportunity for biodiversity conservation? A global review. *Frontiers in Ecology and the Environment* **12**: 288-296. DOI: <https://doi.org/10.1890/120348>
- Rozendaal DMA, Bongers F, Aide TM, Alvarez-Dávila E, Ascarrunz N, Balvanera P, Becknell JM, Bentos TV, Brancalion, PHS, Cabral GAL, Calvo-Rodríguez S, Chave J, César RG, Chazdon RL, Condit R, Dallinga JS, de Almeida-Cortez JS, de Jong B, de Oliveira A, ..., Poorter L. 2019. Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. *Science Advances* **5**. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau3114>
- Rzedowski J. 2006. *Vegetación de México*, 1ra. Edición digital. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. pp. 504.
- SAGARPA [Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación]. 2017. *Planeación Agrícola Nacional, 2017-2030. Mango Mexicano*. México: SAGARPA. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257078/Potencial-Mango.pdf> (accessed March 14th, 2022).
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2016. *Informe de la situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde 2015*. México: SEMARNAT. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf (accessed June 2nd, 2022)
- SEMAV [Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda]. 2010a. *Programa de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica "El Cabildo-Amatal"*. Chiapas, México: SEMAV, Subsecretaría de Medio Ambiente, Gobierno de Chiapas. pp 100. https://sistemaestatalambiental.chiapas.gob.mx/siseiach/descargas/pm_anp/PROGRAMA_DE_MANEJO_EL_CABILDO_AMATAL_2010.pdf (accessed March 14th, 2022).

- SEMAV. 2010b. *Programa de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica “El Gancho Murillo”*. Chiapas, México: SEMAV, Subsecretaría de Medio Ambiente, Gobierno de Chiapas. Chiapas, México. pp 99. https://sistemaestatalambiental.chiapas.gob.mx/siseiach/descargas/pm_anp/PROGRAMA_DE_MANEJO_EL_GANCHO_MURILLO_2010.pdf (accessed March 14, 2022).
- SIAP [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera]. 2000. *Estadística de la Producción Agrícola de 2000*. México: SIAP, Gobierno Federal de México. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php (accessed March 14, 2022).
- SIAP. 2017. *Estadística de la Producción Agrícola de 2017*. México: SIAP, Gobierno Federal de México. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php (accessed March 14, 2022).
- SIAP. 2020. *Estadística de la Producción Agrícola de 2020*. México: SIAP, Gobierno Federal de México. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php (accessed March 14, 2022).
- SIAP. 2021. *Estadística de la Producción Agrícola de 2021*. México: SIAP, Gobierno Federal de México. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php (accessed March 14, 2022).
- Teuber O, Sotomayor A, Moya I, Salinas J. 2016. Cortinas cortavientos, y su impacto en la producción agropecuaria de la Región de Aysén. In: Sotomayor A, Barros S, eds. *Los Sistemas Agroforestales en Chile*. Chile: Instituto Forestal. pp. 221-243. ISBN: 978-956-318-122-7
- Tscharntke T, Sekercioglu CH, Dietsch TV, Sodhi NS, Hoehn P, Tylianakis JM. 2008. Landscape Constraints on Functional Diversity of Birds and Insects in Tropical Agroecosystems. *Ecology* **89**: 944-951. DOI: <https://doi.org/10.1890/07-0455.1>
- Tscharntke T, Steffan-Dewenter I, Kruess A, Thies C. 2002. Contribution of Small Habitat Fragments to Conservation of Insect Communities of Grassland–Cropland Landscapes. *Ecological Applications* **12**: 354-363. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0354:COSHFT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0354:COSHFT]2.0.CO;2)
- Van Lynden G, Oldeman L. 1997. The assessment of the status of human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre. <https://library.wur.nl/Web-Query/wurpubs/fulltext/287427> (accessed March 14th, 2022).
- Van Vliet N, Mertz O, Heinemann A, Langanke T, Pascual U, Schmook B, Adams C, Schmidt-Vogt D, Messerli P, Leisz SJ, Castella JC, Jørgensen L, Birch-Thomsen T, Hett C, Bech-Bruun T, Ickowitz A, Vu KC, Yasuyuki K, Fox J, Padoch C, Dressler W, Ziegler AD. 2012. Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. *Global Environmental Change* **22**: 418-429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009>
- Vasseur C, Joannon A, Aviron S, Burel F, Meynard JM, Baudry J. 2013. The cropping systems mosaic: How does the hidden heterogeneity of agricultural landscapes drive arthropod populations? *Agriculture, Ecosystems & Environment* **166**: 3-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.08.013>
- Velázquez A, Mas JF, Díaz-Gallegos JR, Mayorga-Saucedo R, Alcántara PC, Castro R, Fernández T, Bocco G. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* **62**: 21-37.
- Zamora-Elizalde MC, Buendía-Espinoza JC, Martínez-Hernández PA, y García-Núñez RM. 2020. Diagnóstico del uso del suelo y vegetación en la microcuenca Tula, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* **11**: 57-68. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.2213>

Editor de sección: Guillermo Ibarra Manríquez

Author contributions: SMV concibió la idea, diseñó el estudio, realizó trabajo de campo, analizó datos, escribió resultados, preparó figuras/tablas, financió el trabajo y escribió el primer borrador del manuscrito; EAS y ADAR realizaron trabajo de campo, analizaron datos, procesaron/analizaron imágenes y generaron mapas; FI y MACS contribuyeron al mejoramiento del manuscrito inicial y final; MACS analizó datos.