

Cambios en la distribución de sistemas agroforestales en el paisaje del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México

M. Vallejo^{1*}, M. I. Ramírez¹, A. Casas², A. Reyes³, J. G. López-Sánchez¹

(1) Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 27-3 (Santa María Guido), Morelia, Michoacán 58190, México

(2) Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 27-3 (Santa María Guido), Morelia, Michoacán 58190, México

(3) Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia. Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 27-3 (Santa María Guido), Morelia, Michoacán 58190, México.

*Autor de correspondencia: M. Vallejo [mvallejo@ciga.unam.mx].

> Recibido el 15 de septiembre de 2017 - Aceptado el 26 de julio de 2018

Vallejo, M., Ramírez, M. I., Casas, A., Reyes, A., López-Sánchez, J. G. 2018. Cambios en la distribución de sistemas agroforestales en el paisaje del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Ecosistemas* 27(3):96-105. Doi.: 10.7818/ECOS.1501

Los sistemas agroforestales (SAF) del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México, son espacios de alta riqueza ecológica, cultural y paisajística. Trabajos recientes han documentado que los SAF de la región están bajo presión para intensificarse y convertirse en sistemas agrícolas convencionales (SAC). El objetivo de este trabajo es identificar los cambios en la distribución de los SAF en el territorio y los componentes del paisaje que influyen en sus procesos de pérdida o incremento. Mediante interpretación visual a escala 1:20.000 se digitalizaron los SAF existentes en cinco comunidades agrarias del Valle de Tehuacán-Cuicatlán para los años 1995 y 2012. Se realizó un análisis espacial mediante el cual se identificaron los procesos de cambio y su relación con los elementos del paisaje dominantes en la escala de observación: pendiente del terreno, proximidad a caminos y proximidad a ríos. Encontramos que el paisaje agrícola es muy dinámico en la región, en los 17 años de observación se registró tanto incremento de sistemas agrícolas intensivos (SAC) como de SAF en algunas áreas, al mismo tiempo que pérdida en otras. Así mismo, identificamos que la proximidad a caminos y a ríos intermitentes favorece el establecimiento y los cambios de los SAF. Contrario a lo esperado, es relevante que, en términos generales, los SAF hayan incrementado su superficie sobre los SAC, sobre todo para esta zona de alta diversidad biológica donde los SAF representan esquemas productivos más compatibles con la conservación de biodiversidad y tradición cultural ancestral.

Palabras clave: agricultura convencional; prácticas agroforestales; relaciones espaciales; uso del suelo agrícola

Vallejo, M., Ramírez, M. I., Casas, A., Reyes, A., López-Sánchez, J. G. 2018. Changes in the distribution of agroforestry systems in landscapes of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Ecosistemas* 27(3):96-105. Doi.: 10.7818/ECOS.1501

Agroforestry systems (AFS) in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México, are spaces with high ecological, cultural, and landscape richness. Recent studies have documented that AFS of the region are under pressures that cause their intensification and conversion into conventional agricultural systems (CAS). This study aimed at identifying the changes in the distribution of AFS in the territory and the landscape components influencing their processes of loss or increase. We digitalized by visual interpretation, scale 1:20 000, the AFS and conventional agriculture land uses of five agrarian communities within the region for the years 1995 and 2012. Throughout a spatial analysis we identified the agricultural land use changes and their relation to dominant landscape elements: slope, distance to roads and distance to rivers. We found that along the 17 years of observation the agriculture land use in the region has been highly dynamic, having recorded increases of both CAS and AFS in some areas, while decreases in others. Contrary to what was expected, we identified that in general terms AFS have increased their extension over CAS. This is relevant for a region of high biological diversity like this, where AFS are productive schemes more compatible with the biodiversity conservation and ancestral cultural tradition.

Key words: agroforestry practices; agricultural land use; conventional agriculture; spatial relations

Introducción

El paisaje expresa las complejas relaciones en la naturaleza y refleja las múltiples formas de conocimiento, prácticas, niveles tecnológicos y creatividad humana en la obtención de los recursos naturales (Wiersum 1997; Nandy y Kumar 2013). La conformación del paisaje rural y las decisiones que toman los campesinos sobre su territorio están condicionadas por factores ambientales como la topografía, el clima, la red hidrográfica, los tipos de suelos, entre otros factores (Ni-

zeyimana et al. 2002). Asimismo, influyen los elementos antrópicos que impactan en su configuración como los caminos, los asentamientos humanos y la disposición de los terrenos de cultivo (Morales 2014). De manera que tanto los elementos naturales como los antrópicos son factores relevantes que conforman los paisajes rurales, afectando por ejemplo, el establecimiento, la distribución espacial, e incluso los cambios temporales de los sistemas productivos.

Las decisiones de manejo de los campesinos dependen de su cultura, costumbres, entorno social y del conocimiento de su terri-

torio (Altieri et al. 2005). No obstante, la continuidad de prácticas agrícolas tradicionales se ve afectada por la posibilidad de acceder a insumos agrícolas modernos y a programas gubernamentales de financiamiento y subsidios (Moreno-Calles et al. 2013). En los paisajes multiculturales, los sistemas agrícolas son diversos, existe la agricultura intensiva tecnificada con una alta dependencia con respecto a insumos químicos (que en este artículo denominaremos sistema agrícola convencional, SAC), como así también una alta diversidad de sistemas agroforestales (SAF) con distintos niveles de tecnificación (FAO 2015; Nair et al. 2016).

Debido a la relevancia que los SAF tienen en países como México, los podemos considerar como paisajes representativos. Los SAF en México tienen su origen desde el inicio de las prácticas agrícolas más tempranas (Casas et al. 1997; Gordon y Newman 1998). De acuerdo a Moreno-Calles et al. (2015), los SAF son sistemas integrados que incluyen: (1) la conservación selectiva de biodiversidad forestal, principalmente de animales y plantas silvestres, o bajo manejo incipiente; (2) el manejo de biodiversidad agrícola, principalmente plantas y animales domesticados o con niveles avanzados de domesticación; (3) la articulación e integración de los componentes abióticos del sistema como agua, suelo, sustrato litológico, radiación solar, el albedo, la incidencia del viento, etc., con el manejo de los componentes agrícolas y forestales, y (4) los seres humanos, organizados en unidades sociales, quienes tienen un papel protagónico en dirigir las interacciones de los componentes en el sistema. Por dichas características, son sistemas implican un conocimiento profundo de los recursos y del territorio por parte de las comunidades humanas que allí viven además de ser espacios donde producen sus bienes (Toledo y Moguel 2012). Debido a los cambios económicos, políticos y tecnológicos de los últimos 30 años los SAF se han ido transformando o perdiendo, generalmente dando lugar a sistemas agrícolas intensivos, en su mayoría monocultivos con altos requerimientos de insumos agroquímicos y maquinaria que involucra el uso de combustibles fósiles (Altieri y Toledo 2005).

En México los SAF son sistemas agrícolas de pequeña escala ya que las parcelas productivas ocupan entre una y tres hectáreas y, en su mayoría, sus productos son destinados al autoconsumo. Implican bajos niveles de uso de agroquímicos y una baja o nula utilización de maquinaria. Están presentes en las regiones campesinas tradicionales, particularmente en ejidos y comunidades indígenas (Moreno-Calles et al. 2013). Debido a las presiones económicas y productivistas que ven a los SAF como periféricos a la agricultura y como un sistema de subsistencia de baja productividad (FAO 2015), en muchos casos se ha puesto en riesgo la permanencia de los mismos.

Los SAF del Valle de Tehuacán son sistemas agrícolas con una antigüedad de hasta 9000 años (MacNeish 1967; Casas et al. 1997, 2006). Se caracterizan como sistemas tradicionales en los cuales se mantiene la productividad, se conservan altos niveles de biodiversidad y son reservorios de conocimientos y riqueza cultural (Moreno-Calles et al. 2013; Vallejo et al. 2014, 2016). En los diversos trabajos que han estudiado esta región, se ha expresado una preocupación recurrente sobre la presión que ejerce la intensificación agrícola, que ha dado como resultado la pérdida de cobertura arbórea de los SAF y en algunos casos la pérdida del sistema completo. A raíz de ello, este estudio analiza los SAF a escala regional en el Valle de Tehuacán, examinando los cambios en su distribución y extensión en las últimas dos décadas. Los objetivos de este trabajo son: (a) identificar evidencias de los cambios en el uso de suelo agrícola y agroforestal (diminución o incremento de los SAF y SAC) en las últimas dos décadas; y (b) analizar las relaciones espaciales que influyen en la distribución y cambios en el uso de suelo.

Material y métodos

Área de estudio

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán se localiza en el sureste del estado de Puebla y el noroeste de Oaxaca (Rzedowski 1978). Tiene una extensión aproximada de 10.000 km², con una gran heteroge-

neidad ambiental (Valiente-Banuet et al. 2009; Dávila et al. 2002). La mayor parte de la región tiene clima semiárido, con precipitación promedio anual de 300 a 500 mm (García 1988). Es una zona con alta diversidad biológica, se han identificado 37 tipos de asociaciones vegetales (Valiente-Banuet et al. 2009) y se han registrado más de 3000 especies de plantas, de las cuales 365 son endémicas a la región (Dávila et al. 2002; Casas et al. 2015). También es una región muy rica culturalmente, cuenta con la presencia de ocho grupos étnicos: nahuas, mixtecos, popolocas, chochos, ixcatecos, mazatecos, cuicatecos y mestizos (Casas et al. 2001). Es un valle donde se han encontrado algunos de los vestigios más antiguos de agricultura en Mesoamérica, de aproximadamente 9000 años (Mac Neish 1967), constituyendo así una región biocultural de riqueza excepcional (Casas et al. 2014 2017) (Fig. 1).

El presente estudio se realizó en cinco núcleos agrarios representativos de las tres grandes zonas ecológicas identificadas por Vallejo et al. (2016) para el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, donde en trabajos previos documentaron los tipos de SAF presentes en esta zona según sus características ecológicas, agrícolas, sociales y culturales (Moreno-Calles et al. 2010, 2012; Vallejo et al. 2015, 2014, 2016). Se analizaron dos núcleos agrarios localizados en la parte baja del Valle, San José Axusco y Santiago Quioitepec, donde domina la selva baja caducifolia (Valiente-Banuet et al. 2009); uno en la parte intermedia San Luis Atolotlán, dominada por bosques de cactáceas columnares; y dos más en la parte alta del Valle, Santa María Ixcatlán y San Lorenzo Pápalo, con presencia de bosques templados (Fig. 1). Todos son núcleos agrarios con tenencia de la tierra ejidal (propiedad de la tierra de uso común por un grupo de campesinos), donde la principal actividad productiva es la agricultura.

Materiales

La unidad básica de estudio fue el núcleo agrario, delimitado por el Registro Agrario Nacional (RAN 2016), espacio donde las comunidades pueden realizar actividades productivas. Se midió la cobertura de los Sistemas agroforestales y Sistemas agrícolas convencionales dentro de cada núcleo agrario (5 en total) mediante interpretación visual. Se analizaron fotografías aéreas de 1995, escala 1:20 000, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), e imágenes satelitales SPOT de 2,5 m de resolución (pansharpened) para el año 2012, obtenidas del servidor ERMEX de la Secretaría de Marina. Las bases cartográficas para topografía, ríos, caminos y asentamientos humanos se tomaron de los Conjuntos Vectoriales escala 1:50 000 de INEGI.

Diseño y análisis de datos

Con base en las fotografías e imágenes analizadas, identificamos dos clases de uso de suelo agrícola: (1) SAC y (2) SAF. En los SAF se identificaron cuatro prácticas agroforestales (Vallejo et al. 2016): (a) Franjas de vegetación, que se observan como líneas de árboles y vegetación que se mantienen al interior o rodeando los campos agrícolas; (b) manchones de vegetación, que constituyen agrupamientos de árboles que se encuentran al interior de las parcelas agrícolas; (c) árboles aislados, son árboles dispersos en las parcelas agrícolas que representan una práctica intencional con propósitos múltiples; (d) terrazas con vegetación, las cuales se identifican como líneas de árboles a una distancia constante y coincidente con las curvas de nivel.

Se digitalizaron las dos clases referidas y las cuatro prácticas agroforestales, mediante interpretación visual para dos fechas, 1995 y 2012. Se trabajó a escala 1:10 000 para obtener el mayor detalle de las clases determinadas, empleando el software ArcGis 10.2. Se calculó el área por tipo de práctica agrícola con el fin de evaluar las tasas de cambio entre los periodos analizados. Así mismo, se realizó una verificación en campo del 60% de los polígonos, considerando el total de las clases identificadas, para verificar clases dudosas y corroborar el contexto de las áreas digitalizadas.

Se calcularon los cambios en área de cobertura entre 1995 y 2012. Dichos cambios se expresan en pérdidas o incrementos de

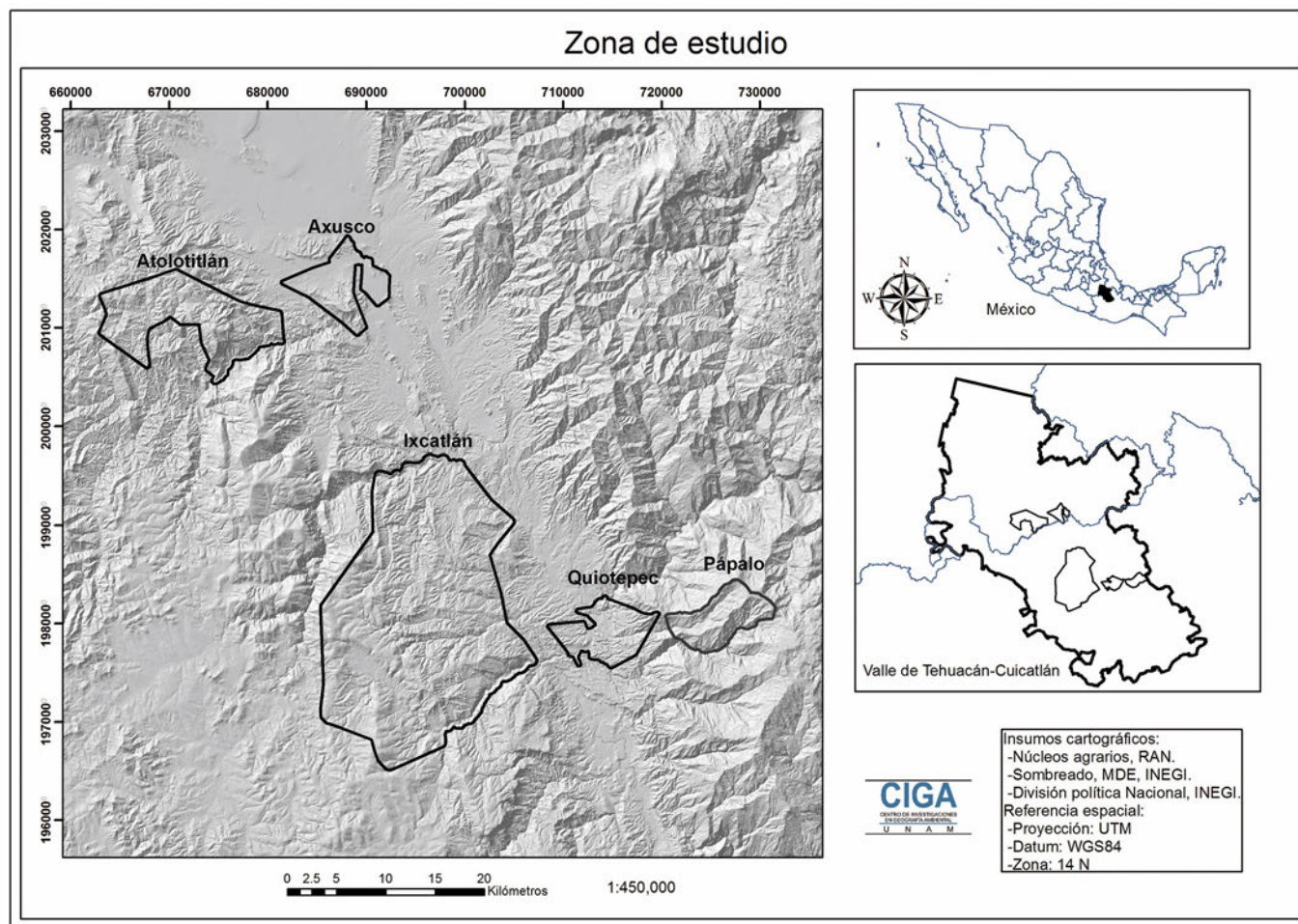


Figura 1. Área de estudio donde se indican los cinco núcleos agrarios analizadas.

Figure 1. Study area indicating the five agrarian communities under analysis.

las clases analizadas de SAF y SAC. Los resultados obtenidos fueron a nivel de superficie de cambio, así como de ubicación espacial. Se elaboró una matriz de transición y una de probabilidad de permanencia para cada una de las clases de uso del suelo, esta matriz de probabilidad surge a partir de dividir cada dato de la matriz de transición (superficie en hectáreas de cada clase de uso del suelo) entre el total de la superficie de cada clase. Para la creación de la matriz se consideró que la probabilidad de permanencia (P_{ij}) de cada clase es proporcional a la superficie restante de la misma clase entre el año 1995 y 2012 (Castelan et al. 2007).

Se analizaron las relaciones espaciales de proximidad y coincidencia de tres componentes del paisaje que pueden influir en los patrones de mantenimiento o pérdida de SAF y de los SAC: pendientes, como un factor limitante; caminos (pavimentados, terracerías y brechas), como vías de acceso y de transporte de productos; ríos perennes e intermitentes, por ser los que se utilizan para riego en la agricultura.

Resultados y discusión

En el Valle de Tehuacán, el área destinada a la producción agrícola en forma de SAC y SAF se mantiene, al mismo tiempo existen parcelas que se abandonan. En el periodo de 1995 a 2012, se registró una pérdida total de 158 ha de SAC mientras hubo un incremento neto de 269 ha (Fig. 2). En promedio SAC aumentó en promedio 80 ha y SAF 131 ha y una pérdida en promedio de 131 ha de SAC y 77 ha de SAF. Al analizar las prácticas agroforestales presentes en la zona, se observa que tienen cambios constantes, pero existe un balance positivo para las cuatro prácticas agroforestales identificadas: franjas de vegetación, árboles aislados, manchones de vegetación y terrazas, siendo las franjas de vegetación las que más aumentaron (Fig. 2). Los resultados de este trabajo

contrastan con lo esperado basado en los trabajos previos de la región (Moreno-Calles et al. 2012; Vallejo et al. 2016; Campos et al. 2016), los cuales reportaron el remplazo de los SAF por SAC. A diferencia de esas observaciones, aquí se reporta como los SAF mantienen un incremento constante en toda la región, lo cuales se han extendido sobre los bosques circundantes así como sobre SAC. Relevante fue identificar que en la mayoría de los núcleos agrarios el tipo SAC es el sistema que reporta más pérdida de superficie, lo cual no se esperaba, debido a las tendencias mundiales (Lambin et al. 2003).

Relacionando lo que se observa en el Valle de Tehuacán con los patrones del campo mexicano donde, el aumento de campos de cultivos se da sobre sitios de vegetación primaria debido a la demanda del mercado (Barsimantov y Navia Antezana 2012), y al mismo tiempo migraciones del campo a la ciudad han provocado un abandono de las actividades agrícolas (Mas et al. 2009). Se observa que el del Valle de Tehuacán Cuicatlán, es una zona que registra una migración constante, principalmente hacia la ciudad de Tehuacán y a Estados Unidos (INEGI 2010), lo que puede explicar el abandono tanto de SAF como de SAC. Sin embargo, es interesante que al mismo tiempo se mantenga la apertura de nuevas parcelas agrícolas, y que la mayoría de esas parcelas sean categorías de SAF. Esto puede estar respondiendo a que los campesinos que se mantienen en la región siguen viendo al SAF como una forma segura de obtener beneficios, en muchos casos más allá de los inmediatos de la cosecha, como el mantener la fertilidad del suelo, el manejo del agua, como reservorio de otros recursos tales como leña, frutas, quelites, etc (Vallejo et al. 2016).

El análisis al nivel de cada núcleo agrario, mostró que en San José Axusco los SAC sufrieron una pérdida de 88 ha mientras que los SAF aumentaron 22 ha. (Fig. 3, 4). En cuanto a las prácticas

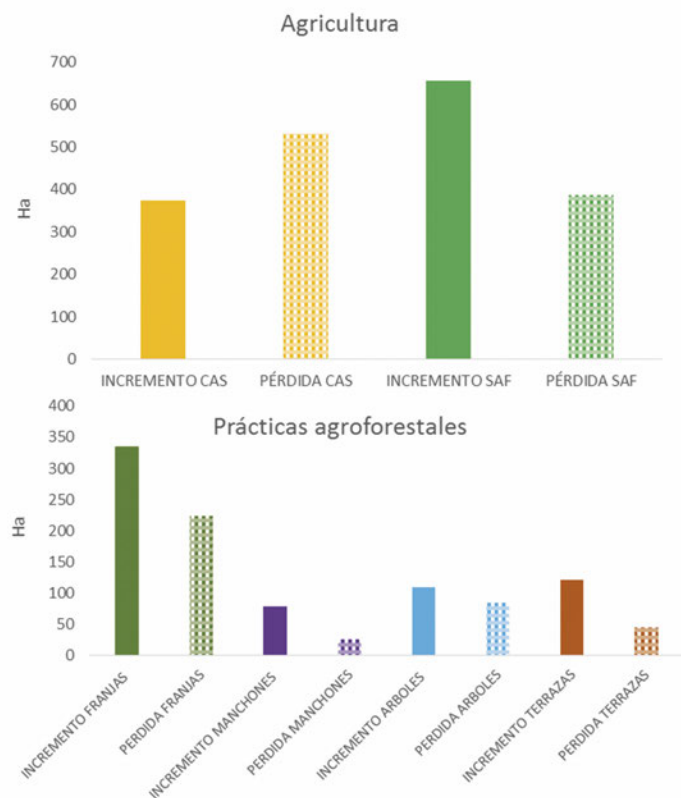


Figura 2. Superficie ocupada por cada cambio de los sistemas agrícolas SAC y SAF considerando todos los núcleos agrarios en su conjunto y los cambios en la superficie de las prácticas agroforestales.

Figure 2. Area occupied by each change in agricultural systems SAC and SAF considering all agrarian unity as a whole and changes in the surface of agroforestry practices.

agroforestales, se identificó el incremento de tres prácticas agroforestales, franjas de vegetación, árboles aislados y manchones de vegetación (Fig. 3, 4). En Santiago Quiotepec los SAC se perdieron 12 ha, mientras que los SAF aumentaron 32 ha, siendo las franjas de vegetación la única práctica agroforestal con incremento. Este cambio se dio por la ampliación de los márgenes del terreno agrícola provocando el aumento de tamaño del mismo fragmento de uso de suelo agrícola registrado desde 1995 (Fig. 3, 5). La comunidad de San Luis Atolotitlán fue la que más cambios presentó en las cubiertas de uso de suelo. En el territorio de esta comunidad, las parcelas agrícolas estuvieron muy fragmentadas, los SAF presentaron un incremento de 45 ha y los SAC una pérdida de 39 ha. Las prácticas agroforestales sufrieron numerosos cambios, siendo el cambio más importante la pérdida de franjas de vegetación (Fig. 3, 6). Los núcleos agrarios que se localizan en la parte alta de la región, son contrastantes. En San Lorenzo Pápalo existen pocos cambios, se perdieron únicamente 6 ha de SAC y los SAF aumentaron 5 ha. La única práctica agroforestal registrada fueron los manchones de vegetación (Fig. 3, 7). Por último, en Ixcatlán fue mayor el incremento de SAF (165 ha), mientras que las prácticas agrícolas se mantuvieron de manera concentrada en la zona destinada para ese uso de suelo (Fig. 3, 8).

En la matriz de transición se observa que la mayor cantidad de hectáreas se mantienen en la categoría de uso de suelo de SAC, un 17% pasó de SAC a SAF (Tabla 1), lo cual fue contrario a lo observado en otros trabajos en la región (Moreno-Calles et al 2012) así como en tendencias globales (Armbrecht et al. 2005) en que plantean que estos SAF tienden a intensificarse transformándose a SAC. Los SAF se mantienen en mayor proporción y solamente el 5% cambia a SAC. La matriz de probabilidad muestra que los SAC tienen el 80% de probabilidad de permanecer y los SAF un 94%, además que sólo el 5% SAF tiene probabilidad de pasar a SAC, mientras que SAC tiene el 17% de pasar a ser SAF. Estos

datos son relevantes, ya que los SAF en la región se han documentado como espacios que conservan altos niveles de riqueza biológica (Vallejo et al. 2016a) y de conocimiento tradicional (Vallejo et al. 2016b).

Relaciones espaciales

Pendientes y ríos

En la región del Tehuacán-Cuicatlán la agricultura se practica principalmente en la parte más plana, con pendientes de 0 a 10°. En ese rango de pendiente existen constantes cambios, así como se abandonan algunos terrenos agrícolas, en esa misma zona es donde se identifica mayor incremento de la superficie dedicada a la agricultura (Tabla 2). En las zonas con pendiente entre los 0 y los 10° es en donde se encuentra una mayor superficie de SAF y también donde se presentan los mayores cambios. En esta zona la pérdida de SAC ocurrió en 179 ha, mientras que el aumento de SAF ocurrió en 206 ha. Tanto los SAC como los SAF tuvieron un mayor incremento en superficie en los rangos de pendiente baja, y conforme la pendiente aumenta la superficie se reduce y por lo tanto los cambios son menores. Las prácticas agroforestales muestran también una tendencia a la baja conforme aumenta la pendiente. En el rango de 10° a 20° las prácticas agroforestales de manchones de vegetación, árboles aislados y terrazas aumentaron (Tabla 2).

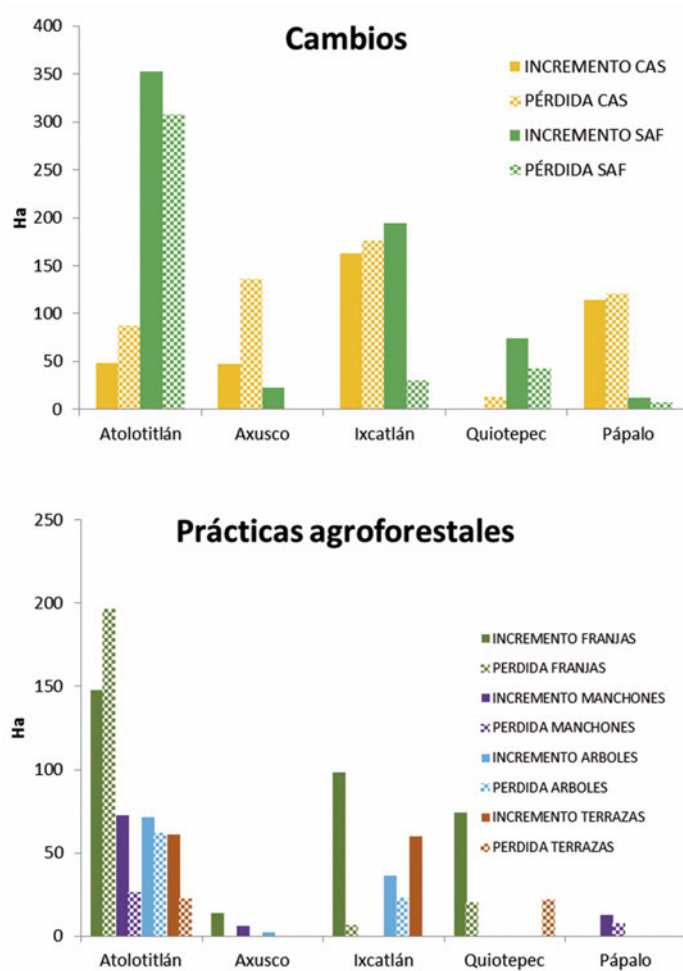


Figura 3. Superficie ocupada por cada cambio de los sistemas agrícolas SAC y SAF considerando cada uno de los núcleos agrarios y los cambios en la superficie de las prácticas agroforestales en cada núcleo agrario.

Figure 3. Area occupied by each change in the agricultural systems SAC and SAF considering each one of the agrarian unity and the changes in the surface of agroforestry practices.

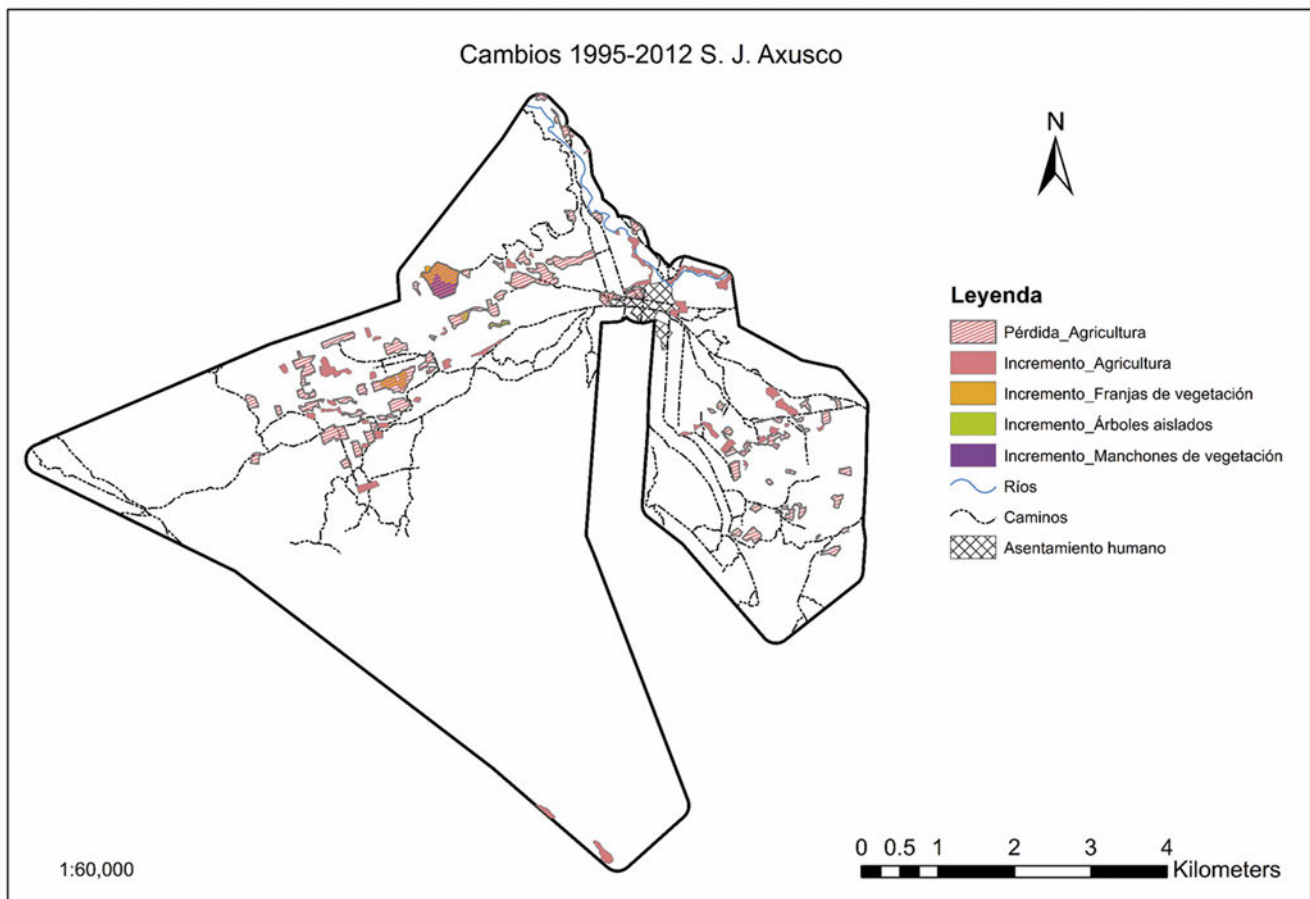


Figura 4. Cambios en el uso de suelo en Axusco.

Figure 4. Land use change in Axusco.

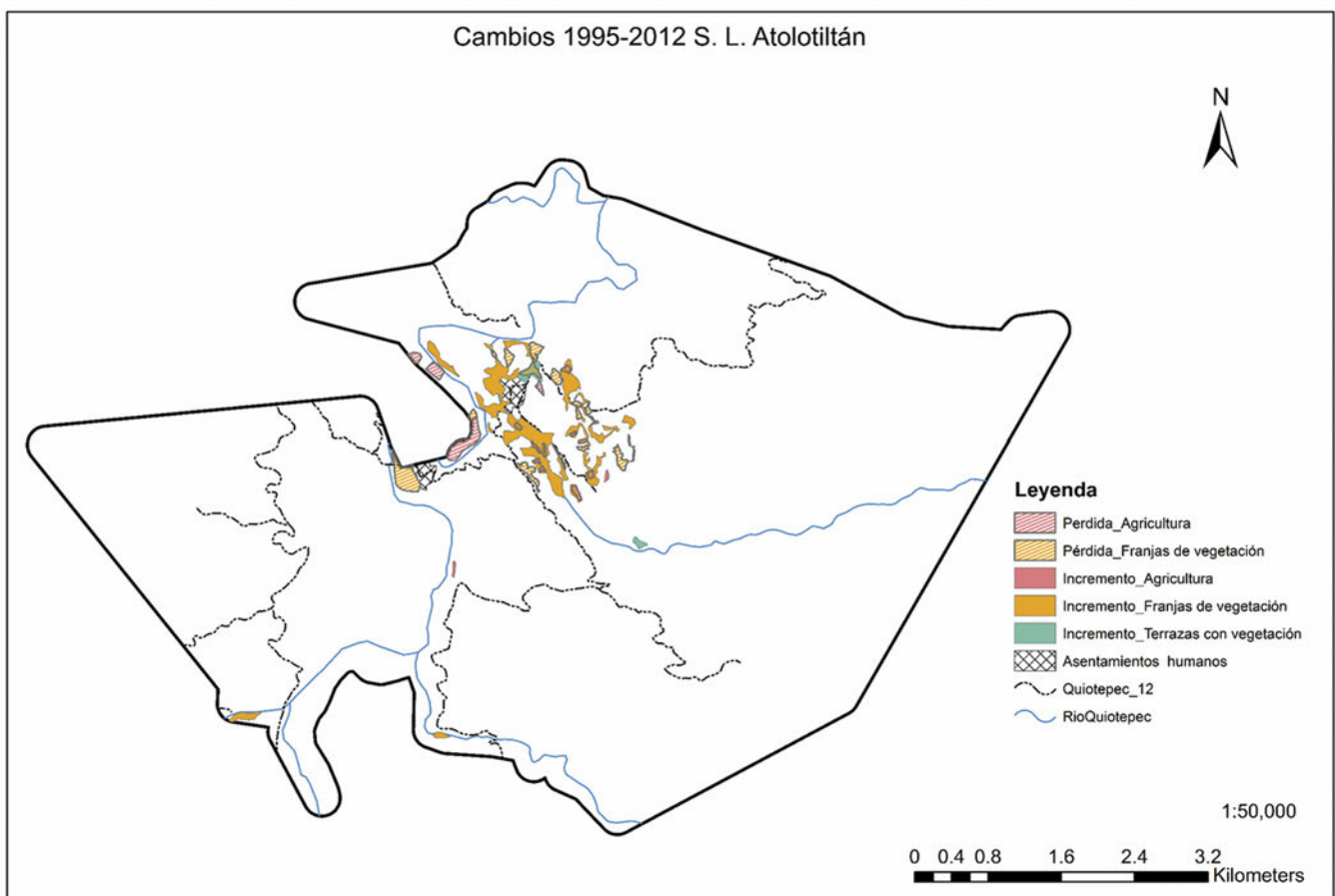


Figura 5. Cambios en el uso de suelo en Quiotepec.

Figure 5. Land use change in Quiotepec.

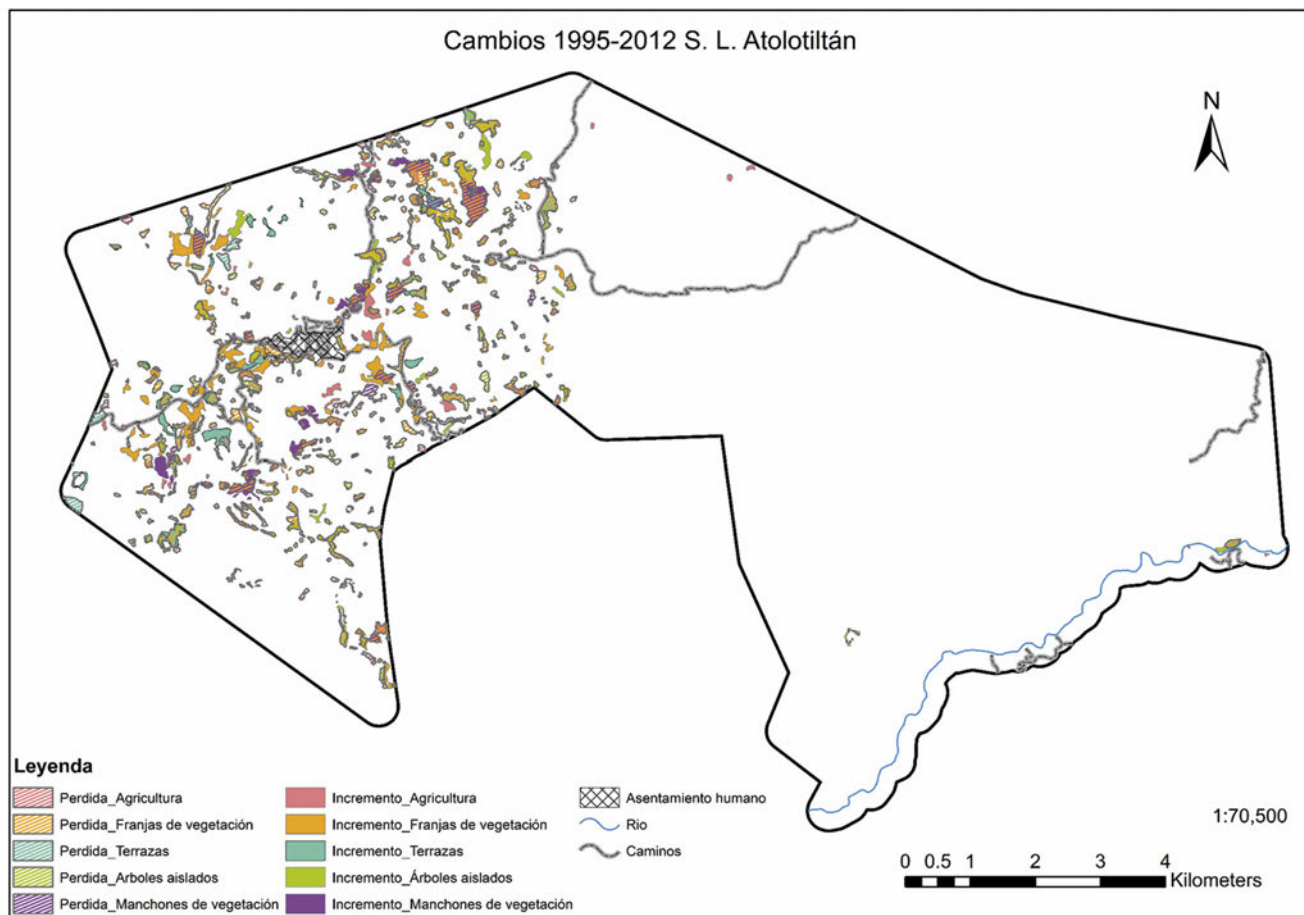


Figura 6. Cambios en el uso de suelo en Atolotitlán.

Figure 6. Land use change in Atolotitlán.

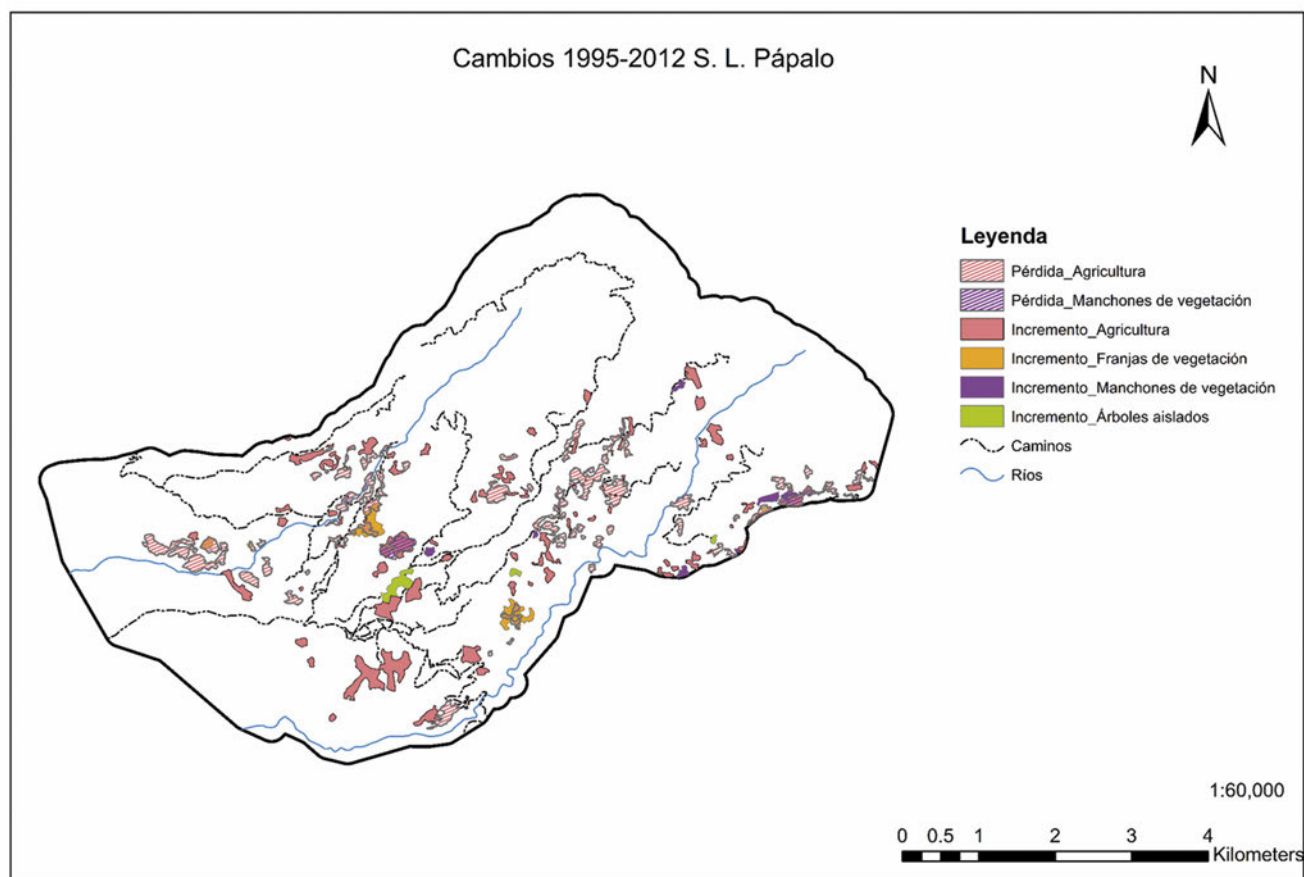


Figura 7. Cambios en el uso de suelo Pápalo.

Figure 7. Land use change in Papalo.

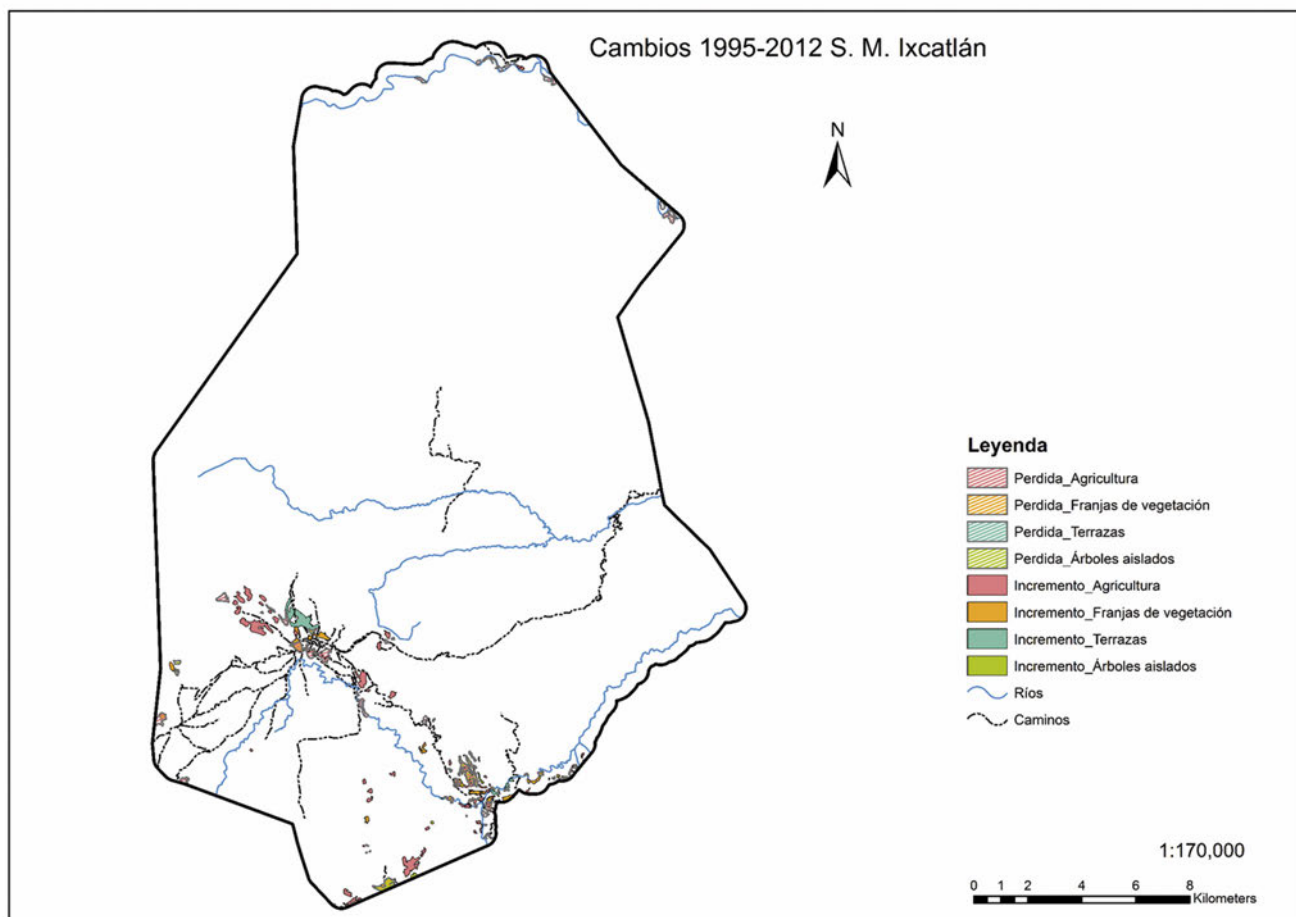


Figura 8. Cambios en el uso de suelo Ixcatlán.

Figure 8. Land use change in Ixcatlán.

Tabla 1. Matriz de transición de las clases de uso de suelo Sistema agrícola convencional (SAC) y Sistema agroforestal (SAF) entre 1995 y 2012. Expresión Matemática: $P_{ij} = S_{ij}(1995) / S_j(2012)$. Donde S_{ij} = Superficie de "ij" de la matriz de transición de uso del suelo en 1995. S_j = Superficie de la clase de uso del suelo "j" en 2012. $\sum P_{ij} = 1$.

Table 1. Transition matrix of the land use classes of the conventional agricultural system (SAC) and the agroforestry system (SAF) between 1995 and 2012. Mathematical Expression: $P_{ij} = S_{ij}(1995) / S_j(2012)$. Where S_{ij} = Surface of "ij" of the transition matrix of land use in 1995. S_j = Surface of the land use class "j" in 2012. $\sum P_{ij} = 1$.

Matriz de transición (ha)			
Uso de suelo 2012			
Uso de suelo 1995	SAC	SAF	Total 1995
SAC	835.7	176.6	1012.3
SAF	29.1	499.0	528.0
Total 2012	864.7	675.6	1540.3

Matriz de probabilidades de transición (ha)			
Uso de suelo 2012			
Uso de suelo 1995	SAC	SAF	$\sum P_{ij}$
SAC	0.826	0.174	1
SAF	0.055	0.945	1

Identificar los factores que influyen en los cambios de los sistemas agrícolas de la región no es sencillo, debido a que es una región con alta heterogeneidad física, biológica y cultural. Al explorar las relaciones con elementos del paisaje, vimos que la zona óptima

para llevar a cabo la agricultura es de los 0 a los 15° o 20°, lo cual se ha documentado también en otros trabajos (Leguía et al. 2011; FAO 2015; Jadán et al. 2016). Existen sitios donde la agricultura se practica en pendientes muy pronunciadas de hasta 40° con la implementación de terrazas (González-Jacome 2003), debido a que la región de estudio el establecimiento de terrazas es una práctica presente, suponíamos que se identificarían presencia de terrazas con SAF, sin embargo eso no fue así, ya que tanto SAC como SAF disminuyeron su presencia y sus cambios a medida que la pendiente aumentó.

Al revisar por núcleo agrario, el que tuvo más cambios y con mayor número de prácticas agroforestales es San Luis Atolotitlán. El rango de pendiente con mayor dinamismo es entre 10° y 20°, esto debido es una comunidad enclavada en una zona montañosa, que no cuenta con zonas de planicies, es por ello también que no han intensificado sus sistemas productivos y es la comunidad donde existen mayor número de SAF, en este caso la práctica que más extendida y que se mantiene en aumento son las franjas con vegetación. En San José Axusco los cambios únicamente se presentan en el rango de pendientes de 0 a 10, en esta comunidad la agricultura está concentrada en la planicie del Valle aluvial con las condiciones óptimas para la agricultura. En San Lorenzo Pápalo la agricultura se presenta en todos los rangos altitudinales, la comunidad tenía una zona destinada para la agricultura, una zona de planicie donde actualmente se concentran los SAC, con forme fue aumentando los campesinos, se fueron abriendo nuevas parcelas en zonas más escarpadas en las montañas de la comunidad, abarcando los diferentes rangos de pendientes (Tabla 3).

Al evaluar la relación de la presencia de ríos con los cambios en los SAC y SAF, se puede observar que el comportamiento es diferente al considerar los ríos permanentes y los intermitentes. La mayoría de los cambios en el caso de los ríos permanentes ocurren a más de 2000 m, lo que indicaría independencia del incremento o

Tabla 2. Superficie de los cambios en los sistemas agrícolas convencionales (SAC) y sistemas agroforestales (SAF) con relación en los distintos factores del paisaje.**Table 2.** Surface of the changes in agricultural systems SAC and SAF related to the different factors of the landscape.

	Rangos pendientes	Incremento CAS	Pérdida CAS	Incremento SAF	Pérdida SAF
Pendientes	0-10°	170.4	278.9	280.8	75.2
	10°-20°	122.3	138.1	244.5	79.8
	20°-30°	65.7	94.9	116.2	33.5
	30°-40°	13.3	18.1	12.9	2.1
	>40°	2.4	1.2	2.0	0.5
Caminos	Distancias (m)				
	0-500	303.5	459.3	579.1	325.4
	500-1000	40.5	46.9	50.2	39.0
	1000-1500	17.0	9.7	18.7	19.4
	1500-2000	4.6	1.4	7.9	4.0
Ríos permanente	Distancias (m)				
	0-500	103.3	222.9	163.2	28.2
	500-1000	62.9	63.8	81.5	29.3
	1000-1500	10.9	31.4	9.0	0.2
	1500-2000	67.3	34.5	21.3	0.0
Ríos intermitentes	Distancias (m)				
	0-500	364.9	395.0	648.0	380.7
	500-1000	9.4	1.8	8.9	7.3
	1000-1500	0	0	0	0
	1500-2000	0	0	0	0
	>2000	0	0	0	0

Tabla 3. Superficie de los cambios ocurridos de 1995 a 2012 en los núcleos agrarios estudiados en los distintos rangos de pendiente.**Table 3.** Area of the changes occurred from 1995 to 2012 in the agrarian unity studied in the different slope ranges.

	Rango de pendiente	Incremento SAC	Pérdida SAC	SAF							
				Incremento franjas de vegetación	Pérdida franjas de vegetación	Incremento manchones de vegetación	Pérdida manchones de vegetación	Incremento árboles aislados	Pérdida árboles aislados	Incremento terrazas	Pérdida terrazas
Axusco	0-10°	43.4	133.6	13.5		6.4		2.2			
	10°-20°	3.6	1.6								
	20°-30°										
	30°-40°										
Quiotepec	0-10°		8.8	52.7	14.4						15.5
	10°-20°		1.9	15.4	4.3						4.6
	20°-30°		1.0	3.4	1.3						1.4
	30°-40°			1.5							
Atolotitlán	0-10°	14.5	21.8	43.3		17.0	6.0	23.0	20.7	16.7	6.4
	10°-20°	19.7	38.9	64.2		35.4	12.6	32.0	28.6	28.7	12.2
	20°-30°	13.0	24.5	36.8		18.9	7.5	15.3	11.7	14.7	3.9
	30°-40°	1.3	2.2	3.4		1.0	0.2	1.4	1.1		
Ixcatlán	0-10°	102.0	106.3	46.4	4.9	17.9	3.6			40.9	
	10°-20°	47.9	54.7	37.2		14.6	14.0			12.8	
	20°-30°	12.0	13.1	12.3	1.3	3.6	5.2			5.9	
	30°-40°		1.3	1.9							
Pápalo	0-10°	9.8	8.4			0.9	3.6				
	10°-20°	51.0	41.1			3.8	2.9				
	20°-30°	40.1	56.1			5.3	1.0				
	30°-40°	11.2	14.0			2.3					
	>40°	2.4	1.2								

pérdida de cultivos con respecto al recurso agua. Pero al relacionarlo con los ríos intermitentes se observa que todos los cambios se concentran a una distancia de menos de 500 m (Tabla 2). Los SAF han aumentado justamente en áreas a esa distancia.

La presencia de ríos, es fundamental para la agricultura ya que implica el acceso a un recurso tan valioso como es el agua. En éste caso los sistemas agrícolas se encontraron a más de 2000 m de distancia de ríos. Esto se da así ya que es una zona en su mayor parte árida con poca presencia de ríos permanentes, por lo que domina es agricultura que no depende principalmente de riego, sino de lluvia. Es interesante como a pesar de ser sistemas que no dependen de riego, sí se encuentran asociados a ríos intermitentes, esto se puede deber a que los ríos intermitentes han sido reconocidos como espacios de importancia ecológica ya que ofrecen condiciones microambientales (Vidal-Abarca et al. 2004), en la agricultura se ha documentado que son fuentes de “riego intermitente” y en general utilizadas como riego complementario durante la época lluviosa (Del Callejo 2010).

Caminos

La agricultura en la zona se lleva a cabo principalmente en las zonas cercanas a los caminos, por ello también es a menos de 500 m de distancia de los caminos donde los cambios en los sistemas agrícolas son mayores. A más de 1000 m los cambios son mínimos. Los sitios cercanos a los caminos se pierden más SAC, mientras que para los SAF se incrementa (Tabla 2).

La presencia y cambios en las prácticas agroforestales también está influenciada por la presencia de caminos, ya que es a menos de 500 m de distancia que las franjas de vegetación, los manchones de vegetación, árboles aislados y las terrazas es donde se llevan a cabo mayores cambios. El mismo patrón se repite cuando se evalúa cada núcleo agrario. En Santiago Quiotepec es a esa distancia en donde se ha incrementado la totalidad de SAF, en particular las franjas de vegetación. San Luis Atolotitlán y Santa María Ixcatlán son los únicos sitios en donde se encuentra agricultura a 2000 m de distancia de un camino. En San José Axusco, San Lorenzo Pápalo y Quiotepec cerca el 100% del incremento tanto de SAC como de SAF se da a menos de 500 m de los caminos.

En la relación con los caminos, se cumple que la agricultura está íntimamente ligada con la apertura de caminos (Forman 2003; Ramírez et al. 2006), puede ser una relación que se retroalimenta, es decir, si se abre un camino eso facilita que se puedan abrir parcelas de cultivo, o que existían las parcelas agrícolas y esto funciona como una presión para hacer un camino que facilite los trabajos. Por los alcances de este trabajo no se logró determinar causa efecto, pero sí se encontró una relación directa de los caminos y el dinamismo en las parcelas agrícolas. No se identifica una diferencia entre los SAC y los SAF, ya que los dos sistemas se encuentran a menos de 500 m de los caminos.

Considerando que los SAF del Valle de Tehuacán son sitios con niveles importantes de riqueza y diversidad biológica (Vallejo et al. 2015), se hace relevante que sean espacios productivos en uso desde hace miles de años (MacNeish 1967, Casas et al. 1997), y los cuáles siguen siendo vigentes.

Conclusiones

Al contrario de lo esperado, los SAF en la región se han mantenido y se han incrementado. Este resultado es muy importante porque rompe con la idea que los SAF en el Valle de Tehuacán Cuicatlán están siendo abandonados o transformados. Considerando que estos SAF han sido documentados como sitios de alta diversidad biológica y cultural, es muy importante identificar a los SAF de la región con esa potencialidad e incorporarlos en estrategias de producción sustentable y conservación de biodiversidad.

Aunque no se encontraron relaciones espaciales que diferencien patrones de cambios de SAF y de SAC, los factores que se analizaron sí mostraron tener un impacto, existe mayor presencia

de SAF y SAC en áreas con poca pendiente (entre 0 y 20°), a menos de 500 m de un camino y menos de 500 m de distancia a un río intermitente.

Referencias Bibliográficas

- ArcGIS® software by Esri. ArcGIS® and ArcMap™ are the intellectual property of Esri and are used herein under license. Copyright © Esri. All rights reserved, www.esri.com.
- Ambrecht, I., Rivera, L., Perfecto, I. 2005. Reduced Diversity and Complexity in the Leaf-Litter Ant Assemblage of Colombian Coffee Plantations. *Conservation Biology* 9(3):897–907.
- Altieri, M. A., Toledo, V. M. 2005. Natural resource management among small-scale farmers in semi-arid lands: Building on traditional knowledge and agroecology. *Annals of Arid zone* 44: 365.
- Barsimantov, J., Antezana, J. N. 2012. Forest cover change and land tenure change in Mexico's avocado region: Is community forestry related to reduced deforestation for high value crops? *Applied Geography* 32(2):844–853.
- Casas, A., Caballero, J., Mapes, C., Zárate, S. 1997. Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 61, 31–47.
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J. L., Caballero, J., Cortés, L., Dávila, P., et al. 2001. Plant resources of the Tehuacán-Cuicatlán valley, México. *Economic Botany* 55(1): 129–166.
- Casas, A., Cruse-Sanders, J., Morales, E., Otero-Arnaiz, A., & Valiente-Banuet, A. 2006. Maintenance of phenotypic and genotypic diversity in managed populations of *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) by indigenous peoples in Central Mexico. *Biodiversity & Conservation* 15(3): 879–898.
- Casas, A., Camou, A., Otero-Arnaiz, A., Rangel-Landa, S., Cruse-Sanders, J., Solís, L., et al. 2015. Manejo tradicional de biodiversidad y ecosistemas en Mesoamérica: el Valle de Tehuacán. *Investigación ambiental Ciencia y política pública* 6(2):23–44.
- Casas, A., Torres, I., Delgado-Lemus, A., Rangel-Landa, S., Ilesley, C., Torres-Guevara, J., et al. 2017. Ciencia para la sustentabilidad: investigación, educación y procesos participativos. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 113–128.
- Castelán, R., Ruiz, J., Linares, G., Pérez, R., Tamariz Flores, V. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones geográficas* 64:75–89.
- Dávila, P., Arizmendi, M. D. C., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J. L., Casas, A., Lira, R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Biodiversity & conservation* 11(3): 421–442.
- Del Callejo, I. 2010. El riego campesino: Dinámicas en la seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Bolivia. En: Vos, J. (ed.), *Riego campesino en los Andes: seguridad hídrica y seguridad alimentaria en Ecuador, Perú y Bolivia*, pp. 207–241. Instituto de Estudios Peruanos, Lima Perú.
- FAO 2015. Promoviendo la agroforestería en la agenda política – Una guía para tomadores de decisiones. Documentos de trabajo en agroforestería No. 1. Roma: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Forman, R. T. T. 2003. *Road Ecology. Science and Solutions*. Island Press, USA.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- González-Jácome, A. 2003. Cultura y agricultura: transformaciones en el agro mexicano. Universidad Iberoamericana, México.
- Gordon, A. G., Newman, S. 1998. *Temperate Agroforestry Systems*. Cabi Internacional. UK.
- INEGI 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda 2010.
- Jadán, O., Cedillo, H., Zea, P., Quichimbo, P., Peralta, Á., Vaca, C. 2016. Relación entre deforestación y variables topográficas en un contexto agrícola ganadero, cantón Cuenca. *Bosques Latitud Cero* 6(1).
- Lambin, E. F., Geist H. J., Lepers E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources* 28(1): 205–241
- Leguía, J. D., Villegas, H., Aliaga, J. 2011. Deforestación en Bolivia: una aproximación espacial. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico* (15):7–44.

- MacNeish, R.S. 1967. A summary of subsistence. In: Byers, D.S. (Ed), *The prehistory of the Tehuacán Valley: Environment and Subsistence*, pp. 290-309. University of Texas Press, Texas, USA.
- Mas, J. F., Velázquez, A., Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental Ciencia y política pública* 1(1).
- Morales, L. M. 2014. The definition of a minimum set of spatial relation. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Moreno-Calles, A., Casas, A., Blancas, J., Torres, I., Masera, O., Caballero, J., et al. 2010. Agroforestry systems and biodiversity conservation in arid zones: the case of the Tehuacán Valley, Central México. *Agroforestry Systems* 80(3): 315-331.
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., García-Frapolli, E., Torres-García, I. 2012. Traditional agroforestry systems of multi-crop "milpa" and "chichipera" cactus forest in the arid Tehuacán Valley, Mexico: their management and role in people's subsistence. *Agroforestry systems* 84(2): 207-226.
- Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M., Casas, A. 2013. Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences* 91(4): 375-398.
- Moreno-Calles, A. I., Galicia-Luna, V. J., Casas, A., Toledo, V. M., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D., Camou-Guerrero, A. 2015. Etnoagroforestería: El estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología* 12(3): 1-16.
- Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Rivero-Romero, A., Romero-Bautista, Y., Rangel-Landa, S., Fisher-Ortiz, R. A. et al. 2016. Ethnoagroforestry: integration of biocultural diversity for food sovereignty in M. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 12(1): 54.
- Nair, P.R., Viswanath, S., Lubina, P.A. 2016. Cinderella agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 30(1-2): 5-55.
- Nandy, S., Kumar Das, A. 2013. Comparing tree diversity and population structure between a traditional agroforestry system and natural forests of Barak valley, Northeast India. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 9(2): 104-113.
- Nizeyimana, E., Petersen, G.W., Looijen, J.C. 2002. Land use planning and environmental impact assessment using geographic information systems. En: Skidmore, A. (Ed.), *Environmental modelling with GIS and remote sensing*, pp. 227-251. CRC Press, USA, United Kingdom.
- RAN. 2016. Registro Agrario Nacional. <http://catalogo.datos.gob.mx/dataset/perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados> Accessed January 2016.
- Ramírez, M. I., Miranda, R., Zubieta, R., Jiménez, M. 2006. Land cover and road network map for the monarch butterfly biosphere reserve in Mexico, 2003. *Journal of Maps* 3(1): 181-190.
- Rangel-Landa, S., Casas, A., Rivera-Lozoya, E., Torres-García, I., Vallejo-Ramos, M. 2016. Ixcatec ethnoecology: plant management and biocultural heritage in Oaxaca, Mexico. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 12(1): 30.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México.
- Solis, L. 2006. Etnoecología cuicateca en San Lorenzo Pápalo, Oaxaca. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Toledo, V. M., Moguel P. 2012. Coffee and sustainability: The multiple values of traditional shaded coffee. *Journal of Sustainable Agriculture* 36: 353-377.
- Valiente-Banuet, A. 2009. *Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Antropología e Historia. idad Autónoma de Tamaulipas, Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán A.C. , México.
- Valiente-Banuet, A., Dávila, P., Solís, L., Arizmendi, M. C., Silva, P. C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, C. J., Rangel-Landa, S., Casas, A. 2009. Guía de la vegetación del Vegetación del Valle de Tehuacán Cuicatlán. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán A.C.
- Vallejo, M., Casas, A., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Solís, L., Rangel-Landa, S., et al. 2014. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation. *Agroforestry systems* 88(1): 125-140.
- Vallejo, M., Casas, A., Pérez-Negrón, E., Moreno-Calles, A. I., Hernández-Ordoñez, O., Tellez, O., et al. 2015. Agroforestry systems of the lowland alluvial valleys of the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve: an evaluation of their biocultural capacity. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 11: 8.
- Vallejo-Ramos, M., Moreno-Calles, A. I., Casas, A. 2016(a). TEK and biodiversity management in agroforestry systems of different socio-ecological contexts of the Tehuacan Valley. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine* 12: 31.
- Vallejo, M., Casas, A., Moreno-Calles, A., Blancas, J. 2016(b). Los sistemas agroforestales del Valle de Tehuacán: Una perspectiva regional. En: Moreno-Calles AI, Vallejo M, Casas A, Toledo V (eds.), *La Etnoagroforestería en México*. ENES, IIES, UNAM, México.
- Vidal-Abarca, M. R., Gómez, R., Suárez, M. L. 2004. Los ríos de las regiones semiáridas. *Revista Ecosistemas*, 13(1).
- Wiersum, K. F. 1997. Indigenous exploitation and management of tropical forest resources: an evolutionary continuum in forest-people interactions. *Agriculture, ecosystems & environment* 63(1): 1-16.