



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.894>

Artículo

Dinámica de cambios de uso de suelo y vegetación por actividades antropogénicas en Zaachila, Oaxaca

Dynamics of changes in land use and vegetation due to anthropogenic activities in *Zaachila, Oaxaca*

María Jesús Pérez Hernández¹, Elizabeth Hernández Acosta^{2*}, Rosa Sánchez Jiménez³, Catalina González Gervacio⁴ y Susana Madrigal Reyes¹

Abstract

The importance of forests from the goods and services that they provide is recognized worldwide. Nevertheless, changes in land use and vegetation have led to changes in climate patterns, flooding, soil degradation biodiversity, loss and threats to livelihoods and to the cultural integrity of humankind. The objective of this research was to analyze the dynamics of changes in land use and vegetation at the local level, in order to have specific basis for the proper management of ecosystems in the *San Pablo Cuatro Venados* municipality, *Zaachila, Oaxaca*. The objective of this research was to analyze the dynamics of changes in land use and vegetation at the local level, in order to have specific basis for the proper management of ecosystems in the *San Pablo Cuatro Venados* municipality, *Zaachila, Oaxaca*. Results showed that, from 1987 to 2020, human settlements have gained more surface area, having a positive rate of 11.41 %, which means an increment of 221.6 ha; the tree vegetation also increased by 698.2 ha, compared with 1987 (2 596.2 ha). On the other hand, the shrub vegetation lost 654 ha, giving up areas to grassland, human settlements, farming, and tree vegetation covers. The changes in the shrub cover revealed an important replacement of this type of vegetation with areas oriented to anthropic activities. The rate of tree cover change shows rational use of forest resources in the municipality, although the areas with the highest deforestation levels were located mainly close to population centers.

Keywords: Forest use, dynamics of change, spectral signature, satellite images, restoration, rate of change.

Resumen

La importancia de los bosques a nivel mundial es reconocida por los bienes y servicios que ofrecen. Sin embargo, los cambios en el uso de suelo y vegetación han generado modificaciones en los patrones climáticos, inundaciones, degradación de los suelos, pérdida de la biodiversidad, amenazas de las formas de vida y en la integridad cultural de la humanidad. La presente investigación tuvo como objetivo realizar un análisis de la dinámica de cambios de uso de suelo y vegetación a nivel local, con la finalidad de tener bases específicas para el buen manejo de los ecosistemas del municipio San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca. Los resultados obtenidos, mostraron que de 1987 a 2020 las áreas de asentamientos humanos han ganado mayor superficie, ya que presentan una tasa positiva de 11.4 %; lo que indica un aumento de 221.6 ha, al igual que la vegetación arbórea que incrementó su superficie en 698.2 ha respecto a la superficie de 1987 (2 596.2 ha). Por otra parte, la vegetación arbustiva perdió 654 ha a favor de áreas con coberturas de pastizal, asentamientos humanos, agricultura y vegetación arbórea. Los cambios en la cobertura arbustiva revelaron un importante reemplazo de esta por zonas destinadas a diversas actividades antrópicas. En el municipio, la tasa de cambio de la cobertura arbórea evidenció un aprovechamiento racional de los recursos forestales, y las zonas con mayor deforestación se ubicaron, principalmente, en áreas cercanas a los centros de población.

Palabras clave: Aprovechamiento forestal, dinámica de cambio, firma espectral, imágenes de satélite, restauración, tasa de cambio.

Fecha de recepción/Reception date: 3 de octubre de 2020.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 3 de marzo de 2021.

¹Centro de Capacitación y Servicios en Estudios Ambientales y Jurídicos A.C. México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. México.

³Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México.

⁴Estudios, Soluciones Sustentables y Gestión Ambiental (ESSYGA). México.

*Autor por correspondencia; correo-e: ehernandez@chapingo.mx

Introducción

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes, del cual depende la existencia de flora y fauna; además sostiene varias actividades económicas de desarrollo para la humanidad (Segura-Castruita, 2014). En diversas regiones del mundo, el recurso suelo ha sido gravemente afectado por los cambios en las coberturas vegetales y uso del suelo, derivados de las actividades antrópicas (Józefowska *et al.*, 2020).

El análisis de cambio de uso y coberturas del suelo permiten inferir las afectaciones que estas transformaciones desencadenan sobre los servicios ecosistémicos; como la recarga de mantos acuíferos, captura de carbono, ciclos biogeoquímicos, la biodiversidad, entre otros (Ramos-Reyes *et al.*, 2016, Franco-Navarro y Godínez-Vidal, 2017); de tal manera que se ubican como prioridad de la investigación ambiental para entender las directrices del deterioro de los recursos naturales.

Actualmente, en México aún se carece de estudios que proporcionen información espacial y temporal que cuantifique con precisión los cambios en la cubierta, uso de suelo y deforestación (Mas *et al.*, 2017). A pesar de ello, se tienen trabajos que aportan información relevante para entender la dinámica del cambio de la cubierta vegetal, por ejemplo: la deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México (Monjardín-Armenta *et al.*, 2017); el cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México (Escandón *et al.*, 2018); los cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México (Leija-Loredo *et al.*, 2016); el avance de la deforestación en México 1976-2007 (Rosete-Vergés *et al.*, 2014); y el análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero Comalcalco, Tabasco, México (Ramos-Reyes *et al.*, 2016), entre otros.

Bonilla-Moheno *et al.* (2012) señalan que las investigaciones a nivel local del cambio de cobertura y uso del suelo proporcionan información puntual de los principales

conductores de esas modificaciones; además de, incorporar al análisis detalles de las actividades productivas en el ámbito familiar, así como en el contexto histórico y social.

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un análisis de la dinámica de cambios de uso de suelo y vegetación a nivel local, con la finalidad de tener bases específicas para el buen manejo de los ecosistemas del municipio San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca. Actualmente, este municipio carece de información que ofrezca una perspectiva sobre el estado actual de sus bosques.

Materiales y Métodos

Área de estudio

San Pablo Cuatro Venados tiene una superficie de 6 086.3 hectáreas y pertenece al distrito de Zaachila, en la región Valles Centrales del estado de Oaxaca. Su posición geográfica es: 16°57' N y 96°56' W; colinda con los municipios San Pedro Ixtlahuaca (al norte), Cuilapam de Guerrero (al este), Santiago Tlazoyaltepec (al oeste), Jalapa del Valle (al noroeste) y San Miguel Peras y Santiago Clavellinas (al suroeste) (Figura 1).



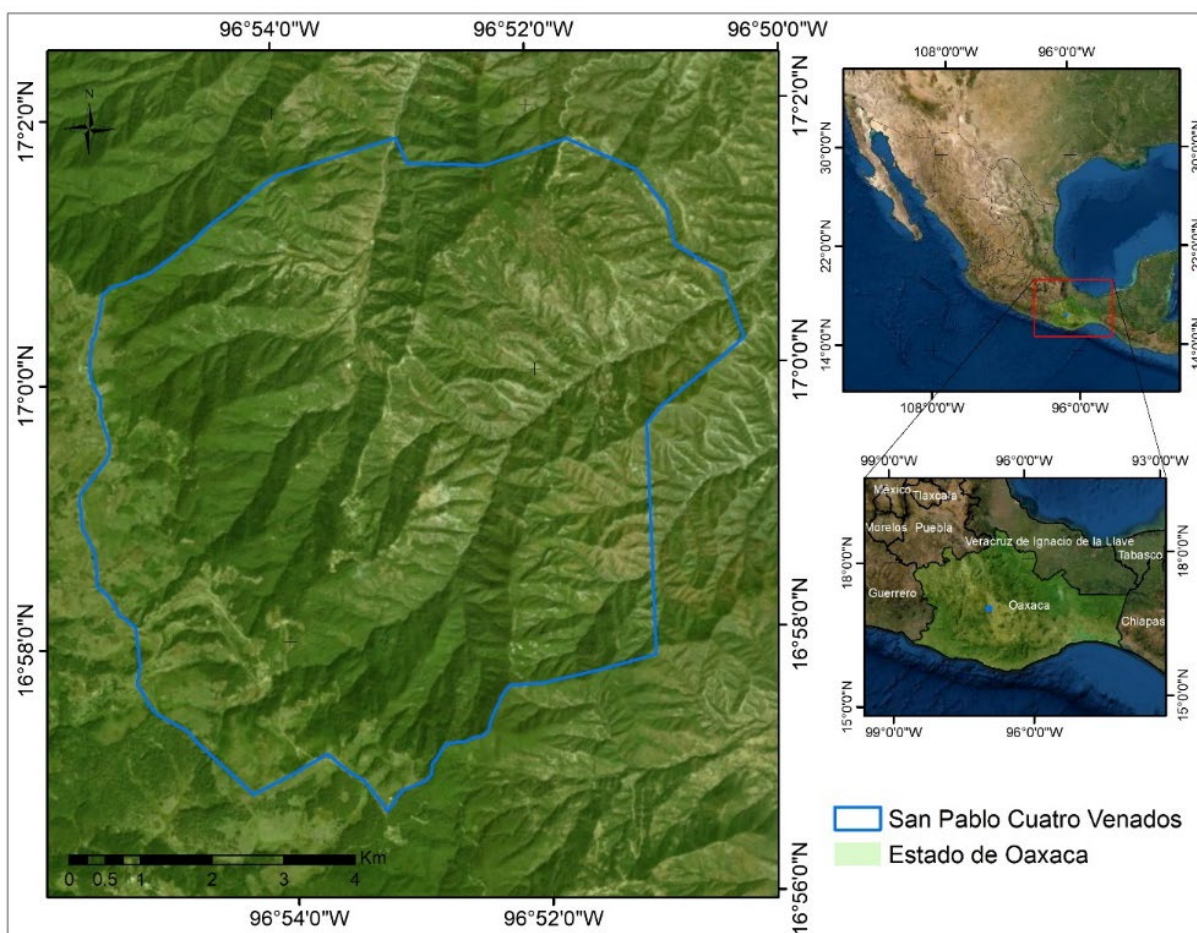


Figura 1. Localización geográfica del municipio San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca.

Al 2015, la población en el municipio era de 1 411 habitantes (INEGI, 2015). Se ubica en las cotas 1 700 a 2 800 msnm. El clima predominante corresponde al tipo $C(w_1)$, templado subhúmedo, con precipitación media anual de 700 a 1 200 mm y temperatura media anual de 17 °C. Los tipos de suelos predominantes son: Regosol (47.60 %), Luvisol (21.76 %), Acrisol (19.61 %) y Cambisol (11.03 %) (INEGI, 2005). Dichas características se relacionan con el tipo de vegetación existente: bosque de pino-encino (García-Mendoza *et al.*, 2004).

Preprocesamiento de las imágenes de satélite

Se utilizaron imágenes de satélite *Landsat* 5 TM para 1987 y 2008, y *Landsat* 8 OLI para 2020; todas correspondientes al mes de mayo, con resolución espacial de 30 metros. Se seleccionaron imágenes con bajo porcentaje de nubosidad y con niveles de procesamiento L1T (corrección geométrica y topográfica). Las imágenes *Landsat* 5 se integran de siete bandas: las bandas 1-3 corresponden al intervalo espectral visible; las 4, 5 y 7 pertenecen al infrarrojo; y la banda 6 al infrarrojo térmico (Fernández-Coppel y Herrero, 2001). *Landsat* 8 presenta 11 bandas: las 1-4 refieren al intervalo visible, de la 5-7 al infrarrojo, la banda 8 corresponde al pancromático, la 9 a cirrus y las 10 y 11 a los infrarrojos térmicos (Ariza, 2013). Las imágenes se obtuvieron de manera gratuita de la plataforma <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Con el propósito de homogeneizarlas, se realizó un proceso de corrección atmosférica con el *software* IDRISI Selva[®], a través del módulo ATMOSC; y se utilizó el modelo Cost(t), el cual consiste en una mejora del modelo de sustracción del objeto oscuro (DOS) (Eastman, 2003). Este método permite eliminar bruma y transformar los Niveles Digitales (ND) a valores reales de reflectancia espectral del terreno.

Reconocimiento de campo para definir los usos de suelo y vegetación

Con la imagen satelital del año 2020, se realizó el reconocimiento visual de los tipos de uso de suelo y vegetación de la zona de estudio; posteriormente, se llevó a cabo una clasificación supervisada para obtener un mapa base del área. Para delimitar las coberturas vegetales, se consideró la clasificación de formas de vida descrito por Miranda y Hernández (1963) y las clases definidas en la cartografía de uso de suelo y vegetación serie 6 del Inegi. Se definieron seis categorías: vegetación arbórea (VA), vegetación arbustiva (VAR), pastizal (PA), agricultura (AG), suelo desnudo o sin vegetación aparente (SD) y asentamientos humanos (AH).

Para validar los usos de suelo y vegetación, se aplicó un muestreo aleatorio estratificado: Este método garantiza el muestreo del mismo número de puntos por clases, sin considerar la superficie ocupada (Chuvienco, 1995; Lesschen *et al.*, 2005). Con base en lo anterior, para el área de estudio se seleccionaron un total 120 sitios. Para confirmar el número de categorías de vegetación y usos en el terreno respecto a las observadas en las imágenes de satélite, se hizo un recorrido de campo en el cual se cotejaron los 120 sitios seleccionados, además se documentaron los usos que los habitantes del municipio le dan a la vegetación. De estos, se seleccionaron nueve sitios representativos de las diferentes categorías de uso, se registró la coordenada central y las principales características de las coberturas como: composición, estructura y porcentaje de cobertura arbórea, mismas que fueron tomadas como base para definir las firmas espectrales de las diferentes coberturas presentes en el terreno (Eastman, 2003).

Método de clasificación de la imagen

Los mapas de uso de suelo y vegetación se obtuvieron a través del método de clasificación supervisada mediante la generación de una galería de firmas espectrales con el *software* ENVI 5.3[®]. El proceso implicó tres etapas: primero fue necesario identificar para cada fecha, las bandas útiles que resaltan las características de la vegetación y las propiedades del suelo. Para 1987 y 2008 se usaron las bandas del uno al cinco y la banda siete; mientras que, para el 2020 se seleccionaron las bandas de la dos a la siete. El intervalo espectral de estas bandas permite diferenciar, principalmente, las condiciones de humedad, minerales del suelo y estados de la vegetación (Manrique, 1999; Rodríguez-Moreno y Bullock, 2013).

El resultado anterior, dio paso a la segunda etapa del proceso de clasificación supervisada, la cual consistió en crear una galería de firmas espectrales acorde a los tipos de coberturas identificados en campo. En la última etapa, se ejecutó la clasificación

supervisada utilizando el algoritmo *Spectral Angle Mapper* que determina la similitud entre dos espectros, mediante el cálculo del ángulo entre las dos firmas, tratándolos como vectores en un espacio con dimensionalidad igual al número de bandas, cada cobertura será asignada acorde a la similitud de los valores de reflectancia en los intervalos espectrales de las bandas utilizadas (Eastman, 2003).

La evaluación de la precisión de la clasificación se realizó a partir de la precisión general y el coeficiente *Kappa* calculados en el *software* ENVI 5.3; para ello, la referencia fueron las coordenadas y tipos de coberturas de los sitios validados en campo, los que se complementaron con una muestra aleatoria de 10 % de los píxeles clasificados para cada categoría (Chuvieco, 1995; Lesschen *et al.*, 2005).

Dinámica y tasa de cambio de uso de suelo y vegetación

La dinámica de cambios se determinó con los mapas de uso de suelo y vegetación correspondientes a los años 1987, 2008 y 2020. Se utilizó el módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* del *software* IDRISI Selva®. El análisis se realizó con la finalidad de observar la dinámica de cambio en dos periodos de 1987 a 2008 y de 2008 a 2020, para un periodo de análisis general de 33 años.

La tasa de cambio se obtuvo mediante la ecuación propuesta por la FAO (1995):

$$q = [(A2/A1)^{(1/n)} - 1] * 100$$

Donde:

q = Tasa de cambio (%)

$A1$ = Superficie ocupada por la vegetación en la fecha 1/uso i en el año de inicio

$A2$ = Superficie ocupada por la vegetación en la fecha 2/uso i en el año más reciente

n = Número de años del periodo de análisis

Resultados y Discusión

Mapa de uso de suelo y vegetación

El recorrido de campo permitió confirmar seis categorías de usos de suelo y vegetación: vegetación arbórea (VA), constituida por vegetación de pino-encino; vegetación arbustiva (VAR), conformada por vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino; zonas de pastizal (PA), que también incluye a la herbácea en menor cantidad; agricultura (AG), suelo desnudo o sin vegetación aparente (SD) y asentamientos humanos (AH).

Los indicadores de la precisión derivados de la clasificación se consideran aceptables, ya que se obtuvo una precisión general de 91 %, 89 % y 86 % para 2020, 2008 y 1987, respectivamente; mientras que el índice del coeficiente *Kappa* para el 2020 fue de 0.90, 0.86 para el 2008 y para 1987 fue de 0.84. De acuerdo con Mas *et al.* (2003) y Lesschen *et al.* (2005), la precisión general y el valor del coeficiente *Kappa* obtenidos en las tres fechas son confiables para estudios de posclasificación, como la modelación de cambios de uso de suelo y la proyección de deforestación, entre otros.

El mapa de uso de suelo y vegetación correspondiente al año de 1987 evidenció que la vegetación arbórea se distribuía de manera homogénea en la parte centro y norte del municipio; para 2008, se consolidó ocupando una mayor extensión (4 163.1 ha) y para 2020, perdió superficie y se concentró en mayor cantidad en la zona oeste y norte. La persistencia de la vegetación arbórea y arbustiva en estas áreas, se debe principalmente a la topografía del terreno, ya que son sitios con altitudes de 2 000 a 2 600 m y una pendiente superior a 40 %. Los locatarios perciben estas zonas como laderas poco accesibles; aunado a ello, esos lugares conservan mayor humedad lo que favorece el crecimiento de los renuevos (Figura 2).

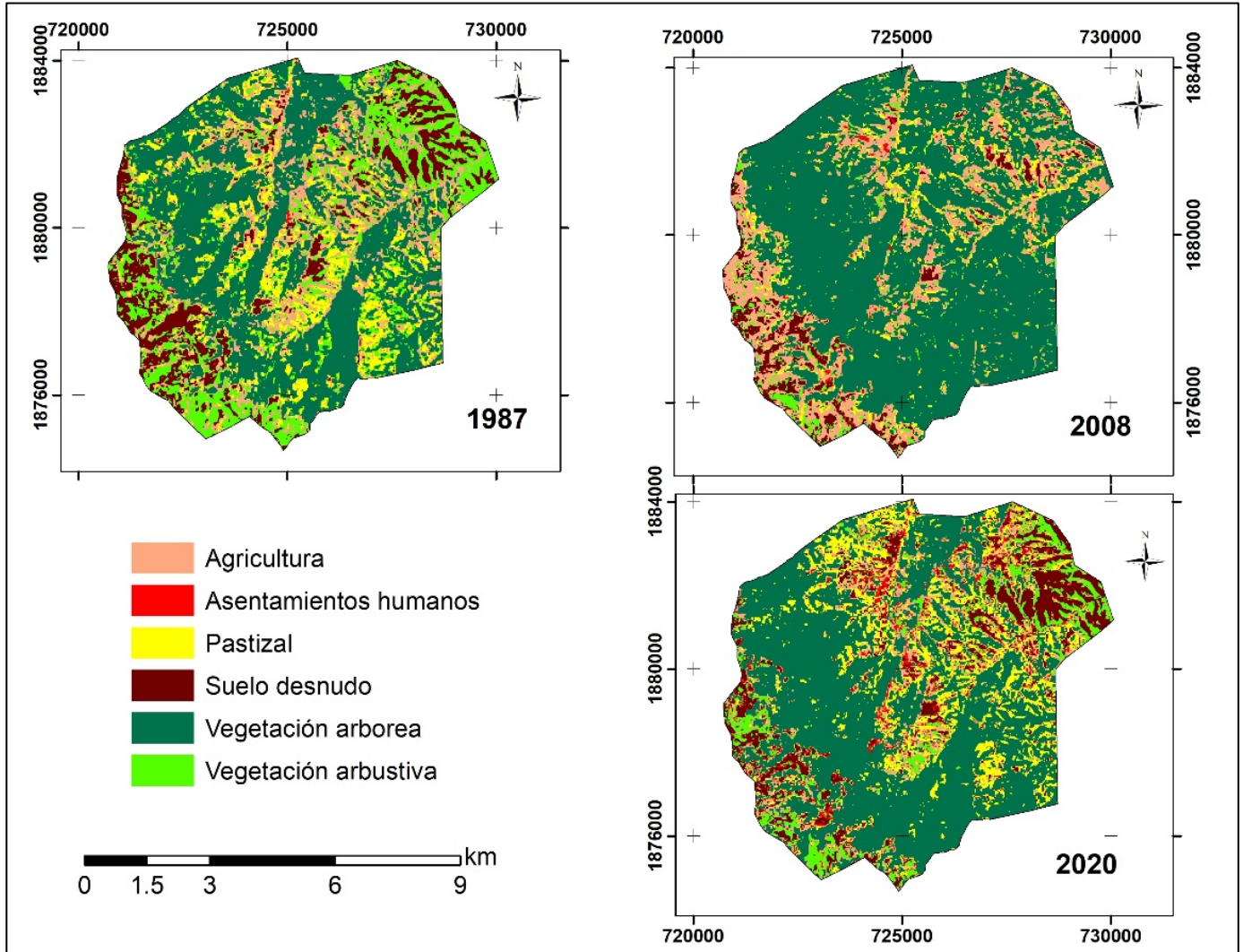


Figura 2. Mapa de uso de suelo y vegetación de 1987, 2008 y 2020 del municipio San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca.

Los resultados concuerdan con lo citado por Bonilla-Moheno *et al.* (2012), quienes señalan que la altitud es una de las principales variables que explica la deforestación y que existe una relación negativa entre ambas variables: a mayor altitud, menor deforestación.

Para 1987, la categoría que tuvo mayor superficie fue la vegetación arbórea, con 2 596.2 ha (Cuadro 1) que representó 42.66 % de la superficie total; y la que cubrió menos área fue la categoría de asentamientos humanos, con 6.5 ha.

Cuadro 1. Superficie y tasa de cambio para los periodos 1987-2008, 2008-2020 y 1987-2020.

Coberturas de uso de suelo y vegetación	Superficie (ha)			Tasa de cambio (%) ¹		
	1987	2008	2020	1987-2008	2008-2020	1987-2020
Agricultura	924.5	990.1	545.7	0.3	-4.8	-1.6
Asentamientos humanos	6.5	29.4	228.1	7.5	18.6	11.4
Pastizal	713.2	396.6	888.3	-2.8	7.0	0.7
Suelo desnudo	735.5	290.4	673.4	-4.3	7.3	-0.3
Vegetación arbórea	2 596.2	4 163.1	3 294.4	2.3	-1.9	0.7
Vegetación arbustiva	1 110.4	216.7	456.4	-7.5	6.4	-2.7

¹Valores positivos indican ganancia de superficie y valores negativos pérdida.

Al igual que en 1987, para 2008 la vegetación arbórea fue la que presentó mayor superficie, con un incremento de 1 566.8 ha respecto a la primera fecha; la cobertura que ocupó el segundo lugar fue la agricultura, con 16.3 % (990.1 ha). Para el 2020, la vegetación arbórea disminuyó considerablemente en relación a la superficie del 2008, ya que solo se conservaron 3 294.4 ha; y la categoría de asentamientos humanos fue la que ganó mayor superficie, al pasar de 29.4 a 228.1 ha.

Estos resultados responden, principalmente, a factores sociodemográficos. En la década de 1980 y principios de 1990 se vivió un proceso de emigración de la población local hacia algunas las ciudades (Ciudad de México, Oaxaca); otras entidades federativas, como el Estado de México y Puebla; así como al extranjero (Conapo, 2014); lo cual repercutió en el abandono de tierras de cultivo y pastoreo. Sin embargo, para mediados del año 2000 la zona urbana y el número de habitantes empezó a incrementarse, debido a que la cantidad de personas emigrantes disminuyó, además se vivió un proceso de retorno de las personas que habían emigrado, incluso representó el regreso de familias enteras; fenómeno que detonó la apertura de tierras para asentamientos humanos y pastoreo. Resultados similares fueron documentados por Velázquez *et al.* (2010), quienes señalan que la emigración

propicia el abandono y recuperación de las zonas de cultivo y pastoreo; por su parte Torres-Rojo *et al.* (2016) indican que la presencia de una cantidad mayor de individuos no originarios de una unidad geográfica, provoca el cambio de uso forestal a otros usos.

Análisis de la dinámica y tasa de cambio

La dinámica y tasa de cambio (Figura 3 y Cuadro 1) evidenciaron que de 1987 a 2008 la vegetación arbórea ganó superficie, ya que presentó una tasa positiva de 2.3 %; las coberturas que le cedieron área fueron: pastizal (550 ha), vegetación arbustiva (474 ha) y áreas agrícolas (467 ha). Lo anterior se atribuye a la migración de campesinos hacia las ciudades y a que, históricamente, han existido conflictos respecto a la tenencia de la tierra. La delimitación de la superficie que corresponde al municipio se estableció en fechas recientes, situación que ocasionó la restricción del acceso a las zonas en conflicto, lo cual propició el abandono de esas áreas.

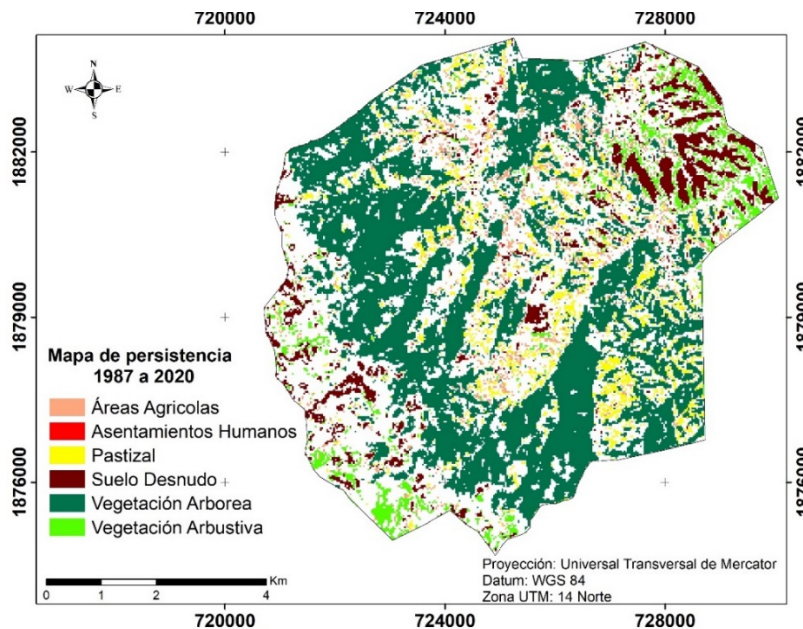


Figura 3. Mapa de persistencia de las coberturas de uso de suelo y vegetación del periodo 1987-2020.

Para el segundo periodo (2008 a 2020), la vegetación arbórea se afectó fuertemente, ya que su tasa fue negativa (-1.9 %); perdió cobertura ante el pastizal (584 ha), y la vegetación arbustiva (97 ha); el suelo desnudo le ganó 76 ha, la agricultura 68 ha y los asentamientos humanos, 32 ha. Asimismo, en ese periodo la clase de asentamientos humanos tuvo el mayor crecimiento, con una tasa de 18.6 %.

En los últimos 33 años (1987-2020), el municipio San Pablo Cuatro Venados ha presentado fuertes transformaciones, debido a las actividades antrópicas; así, su tasa de cambio evidenció que el área ocupada por los asentamientos humanos se ha incrementado, con una tasa positiva de 11.4 %. La vegetación arbustiva fue la más afectada, con una -2.7 %; si bien la vegetación arbórea presentó una tasa positiva de 0.7 %, en los últimos 12 años ha existido una gran deforestación y las áreas aledañas a zonas de asentamientos humanos son las que muestran mayor afectación.

Los resultados expuestos se explican por los siguientes factores:

- 1) Incremento de la población: en el análisis realizado por la Conapo (2016) se indicó que de 1990 a 1995 la población se incrementó en 54 personas, de 1995 a 2005 disminuyó en 67 individuos y para el periodo de 2005 al 2015 el número de habitantes aumentó en 144 personas; esta condición obligó a la apertura de tierras para uso agrícola, pecuario y habitacional.
- 2) Pobreza y grado de marginación: el estado de Oaxaca ocupa el primer lugar a nivel nacional en rezago social (Coneval, 2015). En el periodo de 1990 a 2010, la Conapo (2016) situó al municipio con grado de marginación muy alto, para el 2015 pasó a grado de marginación alta. La dependencia de la población de los recursos forestales para subsistir es significativa. Al respecto, Ellis *et al.* (2016) sugieren que la principal causa de deforestación en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca es el aprovechamiento de leña para autoconsumo; ello explica que las principales pérdidas de vegetación arbórea y arbustiva sucedieron en la cercanía a los asentamientos humanos. En ese contexto,

Ochoa-Gaona y González-Espinosa (2000) señalan que el disturbio de los bosques por la extracción selectiva para leña o carbón intensifica la transición a zonas de cultivos o ganadería.

- 3) Cercanía de los asentamientos humanos: para las comunidades que se encuentran dentro o cerca de los bosques, estos representan una importante fuente de empleo, de ingresos y subsistencia (Chapela, 2012; Osorio *et al.*, 2015). En el presente estudio se observó que la población del municipio San Pablo Cuatro Venados mantiene una alta dependencia de diversos recursos del bosque, entre ellos: el uso de leña, madera para construcción, plantas medicinales y ornamentales, hongos comestibles.
- 4) Incendios forestales: con base en lo expresado por los habitantes del municipio, en el área de estudio se han presentado incendios forestales recurrentes, con afectaciones principalmente en las áreas de vegetación secundaria de pino-encino; sobre el particular, Manson *et al.* (2009) refieren que los incendios antropogénicos recurrentes consumen los renuevos y evitan la regeneración; por lo que, se reemplaza el arbolado con hierbas, pastizales y matorrales.

Dado a que 80 % de los bosques y selvas del estado de Oaxaca son propiedad de ejidos y comunidades, es prioritario promover sistemas de manejo que permitan un aprovechamiento sustentable de los ecosistemas forestales que reconozca a las comunidades locales como dependientes de los recursos naturales (Ellis *et al.*, 2016).

Finalmente, como resultado del estudio que se documenta, es evidente que la parte noreste del municipio está degradado, por lo que es necesario realizar una caracterización de sus suelos para identificar la problemática presente y proponer acciones de conservación y restauración en los sitios más afectados.

Conclusiones

Los resultados muestran que los asentamientos humanos se han incrementado de forma acelerada en los últimos 12 años. A pesar de haberse obtenido una tasa de cambio positiva para la vegetación arbórea (0.7 %) en el periodo analizado de 33 años, en el periodo 2008-2020 es evidente que la vegetación arbórea y arbustiva han estado bajo fuertes presiones por el uso que los habitantes hacen de ella; lo anterior sugiere la necesidad de elaborar un programa de manejo forestal de especies maderables y no maderables que permitan realizar un aprovechamiento sustentable de los recursos forestales del municipio San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los pobladores del municipio San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca, en especial a los C. Miguel Sánchez y Ezequiel Hernández que proporcionaron información y acompañamiento durante los recorridos de campo. De igual forma se agradece al equipo de trabajo de bienes comunales: C. Ángel Ramírez (Comisariado de Bienes Comunales), Adelfo Ramírez (Tesorero de Bienes Comunales) y Sabas Morales (Secretario de Bienes Comunales).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.



Contribución por autor

María Jesús Pérez Hernández: definición de metodología, procesamiento de imágenes de satélite y escritura del documento; Elizabeth Hernández Acosta: definición de metodología, análisis de datos y escritura del documento; Rosa Sánchez Jiménez: verificación de campo y escritura del documento; Catalina González Gervacio: revisión y corrección del manuscrito; Susana Madrigal Reyes: revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

Ariza, A. 2013. Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM. (Landsat data continuity mision) versión 1.0. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. 44 p.

Bonilla-Moheno, M., T. M. Aide and M. L. Clark. 2012. The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. *Regional Environmental Change*, 12:543–557.

Doi:10.1007/s10113-011-0268-z 3.

Chapela, F. 2012. Estado de los bosques de México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A. C. México, D.F., México. 217 p.

Chuvieco, E. 1995. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. RIALP. Madrid, España. 449 p.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (Coneval). 2015. Índice De Rezago Social 2015 a Nivel Nacional, Estatal y Municipal.

https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2015.aspx

(20 de enero de 2021).

Consejo Nacional de Población (Conapo). 2014. Prontuario de migración interna. [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/2048/1/images/Prontuario_Migracion_Interna_2013\(1\).pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/2048/1/images/Prontuario_Migracion_Interna_2013(1).pdf) (21 de enero de 2021).

Consejo Nacional de Población (Conapo). 2016. Datos Abiertos del Índice de Marginación. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_abiertos_del_Indice_de_Marginacion (20 de enero de 2021).

Eastman, J. R. 2003. IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University. Worcester, EE. UU. <https://www.mtholyoke.edu/courses/tmillett/course/geog307/files/Kilimanjaro%20Manual.pdf> (27 de mayo de 2020).

Ellis, E. A., J. A Romero-Montero, I. U. Hernández G., S. Anta-Fonseca y J. E. López-Paniagua. 2016. Determinantes de deforestación en el estado de Oaxaca. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), The Nature Conservancy (TNC), Alianza México REDD+, México, Distrito Federal. 110 p. https://www.researchgate.net/publication/312653088_Determinantes_de_la_deforestacion_en_el_estado_de_Oaxaca (23 de junio de 2020).

Escandón C., J., J. Ordóñez D., C. del C. Nieto de Pascual P. y M. de J. Ordóñez D. 2018. Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(46):27-51.
Doi:10.29298/rmcf.v9i46.135.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1995. Forest resources assessment 1990, Global synthesis, FAO Forestry Paper 124, Rome. <http://www.fao.org/3/v5695e/V5695E00.htm> (20 de enero de 2021).

Fernández-Coppel, I. A. y E. Herrero L. 2001. El Satélite Landsat: análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat. Universidad de Valladolid. <http://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf> (10 de abril de 2020).

Franco-Navarro, F. and D. Godinez-Vidal. 2017. Soil nematodes associated with different land uses in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve, Veracruz, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:136–145. Doi:10.1016/j.rmb.2017.01.002.

García-Mendoza, A. J., M. de. J. Ordoñez D. y M. Briones-Salas. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Primera edición. UNAM. México, D.F., México. 605 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca. Clave geoestadística 20292. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20292.pdf (28 de mayo de 2020).

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. Encuesta Intercensal 2015. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/> (20 de enero de 2021).

Józefowska, A., J. C. Loaiza-Usuga and O. Schmidt. 2020. Consequences of land-use changes for soil quality and function, with a focus on the EU and Latin America. pp 207-228. *In: Prasad, M. N. V. and M. Pietrzykowski (eds.). Climate Change and Soil Interactions, Amsterdam, Nederland. Doi:10.1016/B978-0-12-818032-7.00008-4.*

Leija-Loredo, E. G., H. Reyes-Hernández, O. Reyes-Pérez, J. L. Flores-Flores y F. J. Sahagún-Sánchez. 2016. Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y bosques* 22(1):125-140. Doi:10.21829/myb.2016.221481.

- Lesschen, J. P., P. H. Verburg and S. J. Staal. 2005. Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems. LUCR Report Series Num. 7. Nairobi, Kenya. 80 p.
- Manrique E., G. 1999. Índice de vegetación. Aplicación del NDVI. Teledetección. Avances y aplicaciones. Albacete, España. pp. 217-219.
- Manson, R., J. E. M. Jardel-Peláez y C. Escalante-Sandoval. 2009. Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. Capital natural de México. Vol. 2. Conabio. México, D.F., México. pp. 131-184.
- Mas, J. F., J. Reyes D. G. y A. Pérez V. 2003. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. Investigaciones geográficas (51): 53-72. Doi:10.14350/rig.30414.
- Mas, J. F., R. Lemoine-Rodríguez, R. González, J. López-Sánchez, A. Piña-Garduño y E. Herrera-Flores. 2017. Evaluación de las tasas de deforestación en Michoacán a escala detallada mediante un método híbrido de clasificación de imágenes SPOT. Madera y bosques 23(2):119-131. Doi:10.21829/myb.2017.2321472.
- Miranda, F. y X. E. Hernández. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México 28: 29-179. Doi: 10.17129/botsci.1084.
- Monjardín-Armenta, S. A., C. E. Pacheco-Angulo, W. Plata-Rocha y G. Corrales-Barraza. 2017. La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. Madera y bosques 23(1):7-22. Doi:10.21829/myb.2017.2311482.
- Ochoa-Gaona, S. and M. González-Espinosa. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. Applied Geography 20 (1):17-42. Doi:10.1016/S0143-6228(99)00017-X.

Osorio, L. P., J.-F. Mas, F. Guerra y M. Maass 2015. Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México.

Investigaciones geográficas. *Investigaciones Geográficas* (88):60-74.

Doi:10.14350/rig.43853.

Ramos-Reyes, R., R. Sánchez-Hernández y L. M. Gama-Campillo. 2016. Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México.

Ecosistemas y recursos agropecuarios 3(8):151-160.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000200151&lng=es&tlng=es (11 de octubre de 2020).

Rodríguez-Moreno, V. M. y S. H. Bullock. 2013. Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el Desierto Sonorense. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(4):611-623.

Doi:10.29312/remexca.v4i4.1193.

Rosete-Vergés, F. A., J. L. Pérez-Damián, M. Villalobos-Delgado, E. N. Navarro-Salas, E. Salinas-Chávez y R. Remond-Noa. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y bosques* 20(1):21-35.

Doi:10.21829/myb.2014.201173.

Segura-Castruita, M. A. 2014. The Soils of Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 66(1):223-224. <https://www.redayc.org/articulo.oa?id=943/94330745016> (5 de diciembre de 2019).

Torres-Rojo, J. M., O. S. Magaña-Torres y F. Moreno-Sánchez. 2016. Predicción del cambio de uso/cobertura arbolada en México a través de probabilidades de transición. *Agrociencia* 50:769-785. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1248/1248>. (11 de octubre de 2020)

Velázquez, A., J.-F. Mas, G. Bocco and J. L. Palacio-Prieto. 2010. Mapping land cover changes in Mexico, 1976–2000 and applications for guiding environmental management policy. *Singapore Journal of Tropical Geography* 31:152–162. Doi:10.1111/j.1467-9493.2010. 00398.x.



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