

TASA DE DEFORESTACIÓN EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO (1993-2007)

DEFORESTATION RATES IN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO (1993-2007)

Liliana Miranda-Aragón¹; Eduardo J. Treviño-Garza¹; Javier Jiménez-Pérez¹; Oscar A. Aguirre-Calderón¹; Marco A. González-Tagle¹; Marín Pompa-García²; Carlos A. Aguirre-Salado³.

¹Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional, km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, México.

Correo-e: lilianaragon@gmail.com (Autor para correspondencia).

²Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan y Boulevard Durango s/n, Col. Valle del Sur Durango. C. P. 34120. Durango, Dgo. México.

³Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Manuel Nava 8, Zona Universitaria. C. P. 78290. San Luis Potosí, México.

RESUMEN

Es importante conocer las tasas de deforestación para el diseño de programas regionales bajo el enfoque particular de Reducción de Emisiones por Degradación y Deforestación (REDD+). Con el propósito de estimar la tasa de deforestación del estado de San Luis Potosí, se realizó un análisis mediante intersección espacial de los mapas de vegetación y uso del suelo serie II (1993) y serie IV (2007). El estudio se enfocó en cuatro zonas biogeográficas: Altiplano, Centro, Media y Huasteca. La tasa de deforestación anual se calculó para cada zona: Altiplano (0.11 %), Centro (-0.12 %, recuperación), Media (0.16 %), y Huasteca (0.51 %). En las zonas áridas y semiáridas se detectó un cambio de matorral a pastizal; mientras que en la zona Huasteca, la selva fue la vegetación más afectada. A excepción de la Huasteca, las tasas de deforestación anuales fueron más bajas que la media nacional (0.43 % de 1976 a 2000). Estos resultados brindan información valiosa para focalizar esfuerzos orientados a detener el proceso de deforestación en San Luis Potosí.

PALABRAS CLAVE: Vegetación y uso del suelo, cambio de uso del suelo, intersección de mapas, matriz de cambio.

ABSTRACT

It is important to know the deforestation rates for the design of regional programs under the particular approach of Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) initiative. In order to evaluate the current deforestation rate in San Luis Potosí state, a spatial intersection analysis of land use and land cover maps (series II, 1993; series IV, 2007) was done. This study focused on four biogeographical zones: 1. Altiplano, 2. Centro, 3. Media and 4. Huasteca. The annual deforestation rates were calculated for each biogeographical zone: Altiplano (0.11 %), Media (0.16 %), Centro (-0.12 %, recovering) and Huasteca (0.51 %). A change from shrubland to grassland was more evident in arid and semiarid zones whereas rainforest was the most affected vegetation in the Huasteca zone. The annual deforestation rates obtained were lower than the national average value (0.43 %, from 1976 to 2000), except for the Huasteca zone. These results provide valuable information when focusing initiatives oriented to stop deforestation process in San Luis Potosí, Mexico.

KEYWORDS: Land use and land cover, land use change, map overlay, change matrix.



Recibido: 15 de junio de 2011
Aceptado: 25 de mayo de 2012
doi: 10.5154/r.chscfa.2011.06.044
<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con estimaciones de la FAO (Food and Agriculture Organization), la deforestación a nivel mundial fue de 8.3 millones ha-año⁻¹ en el periodo 1990-2000 y de 5.5 millones ha-año⁻¹ en el periodo 2005-2010. En México, las estimaciones de las tasas de deforestación fueron de 0.5 % (354,000 ha-año⁻¹) en el periodo 1990-2000 y de 0.24 % (155,000 ha-año⁻¹) en el periodo 2005-2010 (FAO, 2010).

En áreas grandes de estudio, es común encontrar investigaciones realizadas con mapas oficiales (Pineda-Jaimes, Bosque-Sendra, Gómez-Delgado, & Plata-Rocha, 2008; Rosete-Vergés, Pérez-Damián, & Bocco, 2009; Velázquez et al., 2002). Como referente para México (196.4 millones ha), se encuentra el trabajo de Velázquez et al. (2002), quienes determinaron las tasas de cambio a nivel nacional para dos periodos: 1) mapas de vegetación y uso del suelo serie I (1973) contra el mapa del Inventario Forestal Nacional (IFN) (2000) y 2) mapas de vegetación y uso del suelo serie I (año 1973) contra el mapa de vegetación y uso del suelo serie II (año 1993). A nivel estatal se cuenta con el trabajo de Rosete-Vergés et al. (2009), quienes estudiaron el cambio de uso del suelo en la península de Baja California (14 millones ha) con mapas de la serie I (1973) y el IFN (2000). También se tiene el estudio de Pineda-Jaimes et al. (2008), quienes compararon los mapas oficiales de vegetación y uso del suelo serie II (1993) y III (2002) en el Estado de México (2.2 millones ha). En estudios de regiones más pequeñas (< 500,000 ha), la elaboración propia de los mapas fuente es más factible, ya sea mediante la fotointerpretación o el procesamiento de imágenes de satélite (Castelán-Vega et al., 2007; Chapa-Bezanilla, Sosa-Ramírez, & Alba-Ávila, 2008; Franco-Mass, Regil-García, & Ordoñez-Díaz, 2006; Reyes-Hernández, Aguilar-Robledo, Aguirre-Rivera, & Trejo-Vázquez, 2006).

El estado de San Luis Potosí (6.1 millones ha) se ubica en el límite superior de la zona intertropical en México. La entidad cuenta con una variedad de climas y niveles de productividad que determinan la intensidad en el uso del suelo. Tal variación corresponde a matorrales propios de climas áridos, bosques en zonas templadas y conforme se avanza hacia el mar (Golfo de México) existen selvas adaptadas a los ambientes tropicales. Los usos del suelo también son acordes a las condiciones climáticas. En la zona árida es común la práctica de la ganadería extensiva como la caprinocultura. En la zona templada, la práctica de la agricultura de temporal es frecuente, ya sea en zonas planas o de relieve escarpado. En la zona tropical existe una intensidad mayor en el uso del suelo causada por la mejora en las condiciones climáticas propiciando la agricultura y ganadería intensiva (Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental [SEGAM] & Universidad Autónoma de San Luis Potosí [UASLP], 2008).

La diversidad de ecosistemas confiere representatividad del panorama nacional a San Luis Potosí; adicionalmente, la carencia de estudios reportados origina un interés espe-

INTRODUCTION

According to FAO (Food and Agriculture Organization), worldwide deforestation was 8.3 million ha-year⁻¹ in the 1990-2000 period and 5.5 million ha-year⁻¹ during 2005-2010. The estimates for deforestation rates in Mexico were 0.5 % (354,000 ha-year⁻¹) during 1990-2000 and 0.24 % (155,000 ha-year⁻¹) during 2005-2010 (FAO, 2010).

In studies of large areas it is common to find investigations done by using official maps (Pineda-Jaimes, Bosque-Sendra, Gómez-Delgado, & Plata-Rocha, 2008; Rosete-Vergés, Pérez-Damián, & Bocco, 2009; Velázquez et al., 2002). As for Mexico (196.4 million ha), Velázquez et al. (2002) reported the nationwide rates of change for two periods: 1) maps of land use and land cover series I (1973) vs National Forest Inventory (IFN, 2000) and 2) maps of land cover and land use series I (1973) vs maps of land use and land cover series II (1993). At the state level, Rosete-Vergés et al. (2009) studied the land use changes in the Baja California Peninsula (14 million ha) with the series I maps (1973) and the IFN (2000) data. Also Pineda-Jaimes et al. (2008) compared official land use and land cover maps series II (1993) and III (2002) in the Mexico State (2.2 million ha). In smaller regions (<500,000 ha), the preparation of the source maps is more feasible either by photo interpretation or processing of satellite images (Castelán-Vega et al., 2007; Chapa-Bezanilla, Sosa-Ramírez, & Alba-Ávila, 2008; Franco-Mass, Regil-García, & Ordoñez-Díaz, 2006; Reyes-Hernández, Aguilar-Robledo, Aguirre-Rivera, & Trejo-Vázquez, 2006).

San Luis Potosi state (6.1 million ha) is located at the upper limit of the tropics in Mexico. The state has a variety of climates and productivity levels that determine the intensity of land use. Such variation corresponds to shrubland in arid climate, the forest of temperate zones and towards the sea (Gulf of Mexico) the rainforests are adapted to wetter environments. Land use also depends on climatic conditions. In arid regions, extensive livestock breeding and goat farming are common. In the temperate zone, rainfed agriculture is often, either in flat areas or steep relief. In the tropical zone there is a higher intensity in the land use because of better climatic conditions that promote agriculture and intensive livestock farming (Ecology and Environmental Management Secretary [SEGAM] and San Luis Potosi Autonomous University [UASLP], 2008).

San Luis Potosi State is recognized nationwide for its ecosystem diversity, but the lack of studies on land use change delineate the need to analyze deforestation in each biogeographical zone of the state. The objective of this study was to determine deforestation rates in San Luis Potosi by using a spatial intersection of maps of previous land use (series II, 1993) and most recent official cartography (series IV, 2007) under the assumption that the biogeographical zones have different deforestation rates.

cial para analizar la deforestación en cada una de las zonas biogeográficas del estado. Este trabajo tuvo como objetivo determinar las tasas de deforestación en San Luis Potosí, mediante la intersección espacial del mapa de uso anterior del suelo (serie II, 1993) contra la cartografía oficial más reciente (serie IV, 2007), bajo el supuesto que las zonas biogeográficas presentan tasas de deforestación diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estado de San Luis Potosí se enmarca entre las coordenadas geográficas 24° 29' 27" a 21° 09' 33" latitud norte y 98° 19' 48" a 102° 18' 10" longitud oeste (Figura 1A). Cuenta con 6,116,360.9 ha que representan el 3.1 % de la superficie de México. San Luis Potosí se divide en cuatro zonas biogeográficas: Altiplano, Centro, Media y Huasteca (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED], 2005). Estas zonas se integran por 58 municipios y tienen diversas características fisiográficas debido al gradiente altitudinal propiciado por la Sierra Madre Oriental en la parte oeste. La orografía favorece la condición barlovento-sotavento causando que la precipitación escorra hacia el golfo de México, lo cual beneficia a la zona Huasteca y define en gran medida la vegetación tropical que ahí se desarrolla. Por otra parte en la zona del Altiplano, los vientos llegan sin la humedad suficiente para que exista una precipitación regular, lo que limita el desarrollo de matorrales y vegetación arbustiva. La zona Centro es una transición entre el Altiplano y la zona Media, mientras que ésta es la transición entre el Altiplano y la Huasteca (Figura 1B).

MATERIALS AND METHODS

Study Area

San Luis Potosi state is located in the geographical coordinates 24° 29' 27" to 21° 09' 33" latitude north and 98° 19' 48" to 102° 18' 10" longitude west (Figure 1A). It has 6,116,360.9 ha which correspond to 3.1 % of the total area of Mexico. San Luis Potosi is divided into four biogeographical areas: Altiplano, Centro, Media and Huasteca (National Institute for Federalism and Municipal Development [INAFED], 2005). These areas are integrated by 58 municipalities and have different physiographic characteristics due to altitudinal gradient led by the Sierra Madre Oriental in the west side. The orography favors the windward-leeward condition causing precipitation to drain toward the Gulf of Mexico, which benefits the Huasteca zone and largely defines the tropical vegetation that grows there. On the other hand, in the Altiplano area, winds arrive without enough moisture so that there is no regular rainfall, which limits the development of shrubland vegetation. The Centro area is the transition between the Altiplano and Media zone, and the latter is located between Altiplano and Huasteca (Figure 1B).

Study Material

Deforestation rates in San Luis Potosi were determined using land cover and use maps series II (1993) and IV (2007) at a scale of 1:250,000. These were created by the National Institute of Statistics and Geography (INEGI) through photo interpretation of Landsat and SPOT satellite imagery. Vector files showed a spatial offset (X= -30 m, Y= + 60 m) that

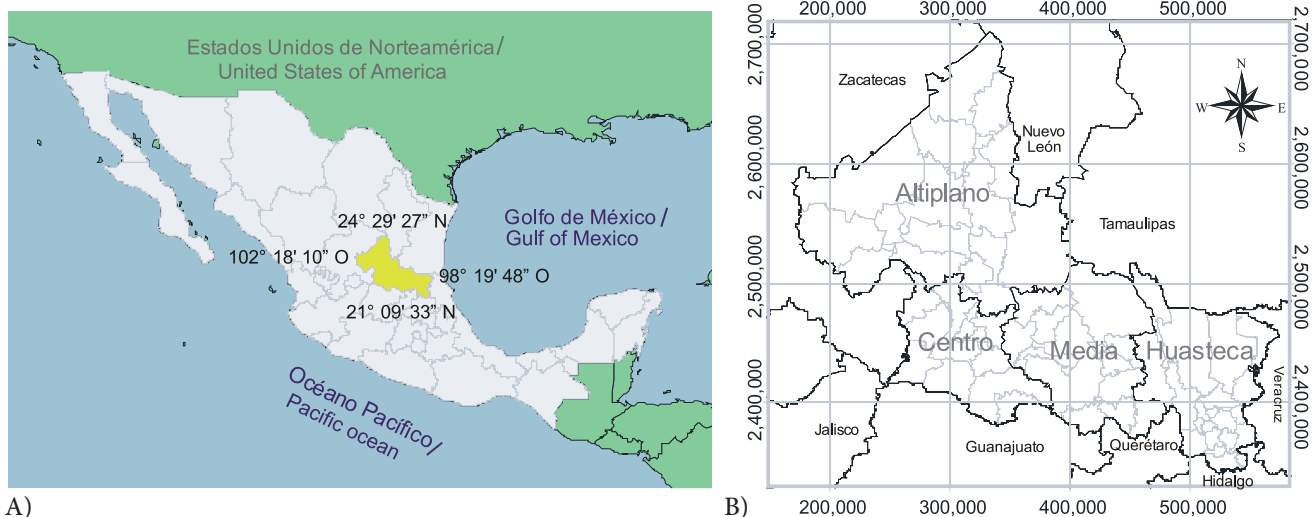


FIGURA 1. Área de estudio. A) San Luis Potosí, México (Coordenadas geográficas) y B) Zonas biogeográficas (Coordenadas UTM, zona 14, datum ITRF92). Fuente: Elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico Municipal versión 4.1 de INEGI.

FIGURE 1. Study area: A) San Luis Potosi, Mexico (geographical coordinates) and B) Biogeographical zones (UTM coordinates, zone 14, datum ITRF92). Source: Prepared by the authors with data from "Marco Geoestadístico Municipal" (Municipal Geostatistical Framework) version 4.1, INEGI.

Material de estudio

Las tasas de deforestación en San Luis Potosí se determinaron utilizando los mapas de vegetación y uso del suelo serie II (1993) y IV (2007), escala 1:250,000. Éstos fueron generados por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) mediante la fotointerpretación de imágenes de satélite Landsat y SPOT. Los archivos vectoriales tenían un desfase consistente (X: -30 m, Y= + 60 m) que no obedecía a la diferencia entre los marcos de referencia usados en la cartografía (datum Norteamericano de 1927 [NAD27] y datum International Terrestrial Reference Frame de 1992 [ITRF92]). Debido a ello, los archivos se co-registraron en AutoCAD Map obteniendo un error aceptable (0.33 m) para la escala del trabajo. También se empleó el Marco Geoestadístico Municipal versión 4.1 de INEGI como referencia de los límites políticos de la zona de estudio. Toda la información se manejó en la proyección Universal Transversa de Mercator, zona 14, datum ITRF92 (Figura 1B). Las leyendas de los mapas, a nivel de tipo de vegetación, se estandarizaron para aumentar la confiabilidad temática de la información cartográfica, tal como lo sugiere Velázquez et al. (2002). Las clases empleadas fueron las siguientes: Bosque de Coníferas (BC), Bosque de Latifoliadas (BL), Bosque Mixto (BM), Bosque Mesófilo de Montaña (BMM), Selva Perennifolia y Subperennifolia (SPS), Selva Caducifolia y Subcaducifolia (SCS), Matorral Xerófilo (MX), Mezquital (MZ), Pastizal (P), Otros Tipos de Vegetación (OTV), Vegetación Hidrófila (VH), Área sin Vegetación (ASV), Asentamiento Humano (AH); Plantación Forestal (PF), Agricultura de Riego (AR), Agricultura de Temporal (AT) y Cuerpo de Agua (CA). Sólo fue posible validar el mapa de 2007 mediante 330 sitios de muestreo obtenidos del Inventario Forestal Nacional (2004-2006), usando matrices de confusión. También la confiabilidad de la cartografía y el índice de Kappa fueron calculados (Congalton, 1991).

Análisis de cambio

El análisis de cambio se realizó con el software Idrisi con máscaras booleanas para cada zona. El tamaño de píxel se eligió de acuerdo con Pineda-Jaimes et al. (2008), quienes recomiendan tomar la mitad del objeto más pequeño como base. Ellos utilizaron 125 m a escala 1:250,000 para comparar los mapas de la serie II (1993), serie III (2002) y determinar el cambio de uso del suelo en el Estado de México. Dado que los polígonos más pequeños eran de aproximadamente 100 m de largo (mapa serie IV, 2007), se escogió un píxel de 50 x 50 m como unidad de análisis. La tasa de cambio se calculó para cada tipo de vegetación y uso del suelo (FAO, 1996) con la fórmula:

$$TC = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{(1/n)} - 1 \right] \times 100$$

did not follow the difference between the reference datums used in Mexican cartography (North American datum, 1927 [NAD27] and Datum International Terrestrial Reference Frame, 1992 [ITRF92]). So, the files were co-registered in AutoCAD Map obtaining an acceptable error (0.33m) for the scale used in the work. Also the INEGI's Marco Geoestadístico Municipal version 4.1 was used as a reference for the political borders of the study area. All information was handled by the Universal Transverse Mercator Projection, zone 14, datum ITRF92 (Figure 1B). Map legends (vegetation type) were standardized to increase reliability of the cartographic information, as suggested by Velázquez et al. (2002). The following land cover and land use classes were used: coniferous forest (CF), hardwood forest (HF), mixed forest (MF), mountain cloud forest (MCF), evergreen and semi-evergreen forest (ESF), deciduous and subdeciduous forest (DSF), xerophytic scrub (XS), Mezquital (MZ), grassland (G), other vegetation (OV), hydrophilic vegetation (HV), area without vegetation (AWV), human settlement (HS), forest plantation (FP), irrigation agriculture (IA), rainfed agriculture (RA) and water body (WB). It was only possible to validate the map of 2007 by 330 sampling sites obtained from the National Forest Inventory (2004-2006) using confusion matrices. Also the reliability of the cartography and kappa index were calculated (Congalton, 1991).

Analysis of change

This analysis was performed with Idrisi software with Boolean masks for each zone. The pixel size was chosen according to Pineda-Jaimes et al. (2008), who recommended using half the smaller object as base. They used 125 m in a 1:250,000 scale to compare the series II (1993) and series III (2002) maps, and to determine the change in land use in the State of Mexico. Because smaller polygons were about 100 m long (map series IV, 2007), a pixel of 50 x 50 m was chosen as the unit of analysis. The rate of change (RC) was calculated for each vegetation type and land use (FAO, 1996) with the formula:

$$RC = \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^{(1/n)} - 1 \right] \times 100$$

Where:

RC = Rate of change (%)

A₁ = Area in the initial year (ha)

A₂ = Area in the final year (ha)

n = Number of years in the analysis period

Positive RC values indicate area gain, while a negative value indicates a loss. Also deforestation rate (DR) was calculated in forests, rainforests and shrublands with the formula presented by Pinedo-Álvarez et al. (2007), which uses the same variables as the RC formula:

$$DR = \left[-1 \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{(1/n)} \right] \times 100$$

Donde:

TC = Tasa de cambio (%)

S_1 = Superficie en el año inicial (ha)

S_2 = Superficie en el año final (ha)

n = Número de años en el periodo de análisis

El valor positivo de TC indica ganancia de superficie, mientras que un valor negativo indica pérdida. Asimismo, se calculó la tasa de deforestación (TD) en bosques, selvas y matorrales, con la fórmula presentada por Pinedo-Álvarez et al., (2007), la cual emplea las mismas variables que la fórmula de TC:

$$TD = \left[-1 \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{(1/n)} \right] \times 100$$

El valor positivo de TD indica pérdida de áreas arboladas, mientras que un valor negativo indica ganancia. Se hizo un nuevo mapa mediante la intersección vectorial de los mapas serie II (1993) y IV (2007), y la generación de dos nuevas columnas: a) cambio detectado, concatenando el tipo de vegetación de cada fecha y b) indicador de cambio; conservación, recuperación, deforestación, degradación, sin cambio y falso cambio para cambios ilógicos entre las diferentes clases, por ejemplo de selva perennifolia a bosque de pino.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Validación de los mapas empleados

El mapa actual de uso de suelo se validó satisfactoriamente mediante 330 sitios del Inventario Forestal Nacional del estado de San Luis Potosí y una matriz de confusión. La serie IV (2007) tuvo una confiabilidad general del 85.7 % y un Kappa de 81.3 %. Dado que no se consiguieron datos correspondientes al mapa de 1993, éste no pudo ser validado mediante el mismo procedimiento. No obstante, los resultados del mapa de indicadores de cambio arrojaron valores casi nulos de falso cambio (500.6 ha, 0 %) (Figura 4B). Esto otorga una confianza mayor al mapa de 1993 con respecto a su validez.

Tipos de vegetación y uso del suelo

San Luis Potosí se conforma de una vasta diversidad de ecosistemas que varían desde el matorral hasta la selva perennifolia y subperennifolia. En la Figura 2 se puede apreciar que la biodiversidad de ecosistemas obedece a un gradiente de posición geográfica (longitudinal y altitudinal). La vegetación de la parte occidental de San Luis Potosí es de clima árido. Mientras se avanza hacia el golfo de México, la humedad ambiental propicia las condiciones para que se desarrollen especies de rápido crecimiento como en la zona Huasteca. Existe también el factor antrópico, el cual determina que grandes extensiones de tierra en la zona Huasteca sean la base de actividades primarias como la agricultura o el pastoreo (SEGAM & UASLP, 2008).

Positive DR values indicate loss of forested areas, while a negative value indicates gain. A new map was done by vector intersection of series II (1993) and IV (2007) maps, and the generation of two new columns: a) change detected, by concatenating vegetation type of each date and b) indicator of change; including conservation, recovering, deforestation, degradation, no change, and false change for the case of illogical changes among several land use and land cover classes, e.g. from tropical rainforest to temperate forest.

RESULTS AND DISCUSSION

Validation of maps used

The current land use map was successfully validated using 330 National Forest Inventory sites of San Luis Potosi state and by a confusion matrix. Series IV (2007) had an overall reliability of 85.7 % and 81.3 % Kappa. Since it was not possible to obtain data from the 1993 map, it could not be validated by the same procedure. However, the results from the change indicators map yielded false-change values near zero (500.6 ha, 0 %) (Figure 4B). This gives greater confidence to the 1993 map with respect to its validity.

Vegetation types and land use

San Luis Potosi has a wide variety of ecosystems ranging from shrubland to evergreen and semi-evergreen forest. Figure 2 shows that ecosystems biodiversity follows a gradient of geographical position (longitudinal and altitudinal). The vegetation of the western part of San Luis Potosí is arid climate. While towards the Gulf of Mexico, the humidity conditions foster the development of fast-growing species in the Huasteca zone. There is also the human factor, which determines that large areas of land in the Huasteca zone are the basis of primary activities such as agriculture or grazing (SEGAM & UASLP, 2008).

Analysis of change

At state level

The results show that 88.3 % of the area of San Luis Potosi remained unchanged, while 11.7 % changed. Total deforestation during 1993-2007 was 84,704.3 ha (1.4 %) involving the loss of coniferous forest, hardwood forest, mixed forest, evergreen and semi-evergreen forest, deciduous and subdeciduous rainforest, scrubland and mesquite. The loss was particularly marked in the shrubland, where it reached 2.3 % in 14 years. Figure 3 shows that woody vegetation area increased because of the increase in rainfed agriculture (2.6 %), grassland (0.4 %) and irrigated agriculture (0.3 %). The annual DR for San Luis Potosi was 0.14 %. These percentages were calculated based on the state area (6,116,360.9 ha). The change matrix described in Table 1 shows the detail of the changes in each of the land use and land cover classes during the period of analysis.

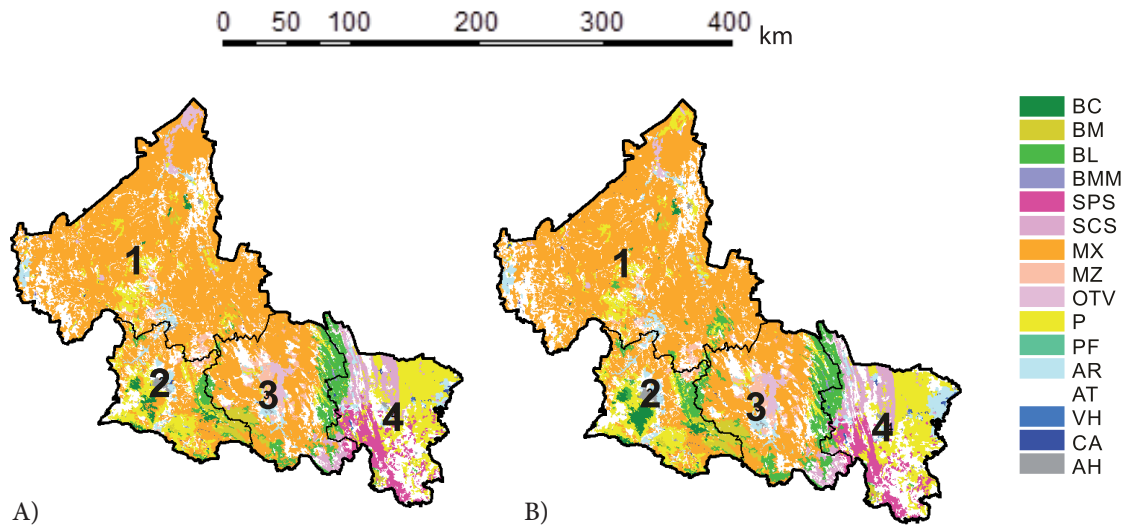


FIGURA 2. Mapa de vegetación y uso anterior del suelo en San Luis Potosí. A) serie II (1993) y B) serie IV (2007). Zonas biogeográficas: 1) Altiplano, 2) Centro, 3) Media y 4) Huasteca. Donde, BC = Bosque de Coníferas; BM = Bosque Mixto; BL = Bosque de Latifoliadas; BMM = Bosque Mesófilo de Montaña; SPS = Selva Perennifolia y Subperennifolia; SCS = Selva Caducifolia y Subcaducifolia; MX = Matorral Xerófilo; MZ = Mezquital; OTV = Otros Tipos de Vegetación; P = Pastizal; PF = Plantación Forestal; AR = Agricultura de Riego; AT = Agricultura de Temporal; VH = Vegetación Hidrófila; CA = Cuerpo de Agua; AH = Asentamiento Humano; ASV = Área sin Vegetación.

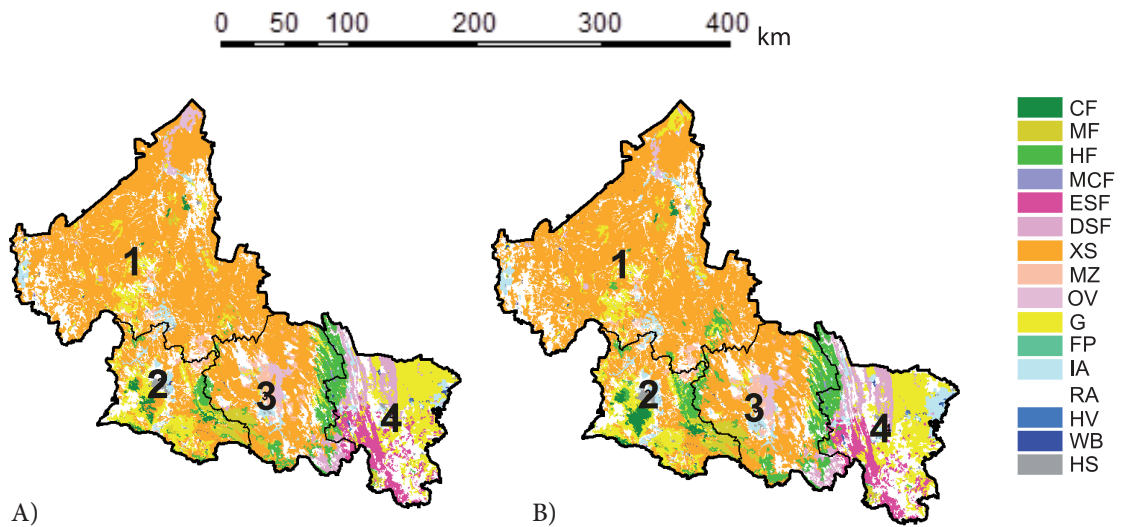


FIGURE 2. Vegetation and previous land use maps of San Luis Potosí. A) series II (1993) and B) series IV (2007). Biogeographical zones: 1) Altiplano, 2) Centro, 3) Media and 4) Huasteca. Where: CF= Coniferous Forest, MF= Mixed Forest, HF= Hardwood Forest, MCF= Mountain Cloud Forest, ESF= Evergreen and Semi-evergreen Forest, DSF= Deciduous and Subdeciduous Forest, XS= Xerophytic Scrub, MZ= Mezquital, OV= Other Vegetation, G= Grassland, FP= Forest Plantation, IA= Irrigation Agriculture, RA= Rainfed Agriculture, HV= Hydrophilic Vegetation, WB= Water Body and HS= Human Settlement.

Análisis de cambio

A nivel estatal

Los resultados muestran que 88.3 % de la superficie de San Luis Potosí permaneció sin cambio, mientras que 11.7 % sí lo presentó. La deforestación total durante el periodo 1993-2007 fue de 84,704.3 ha (1.4 %) implicando la pérdida del bosque de coníferas, bosque de latifoliadas, bosque mixto, selva perennifolia y subperennifolia, selva caducifolia y subcaducifolia, matorral y mezquital. La pérdida fue especialmente marcada en el mato-

At biogeographical level.

The annual RC (%) in each biogeographical zone is influenced by the area of each land use and land cover class for each date (Table 2). The largest annual increases in the surface were in the following order: hardwood forest in the Altiplano (17.2 %), Central (4.1 %) and Media (1 %) zones; rainfed agriculture in the Huasteca (1.1 %), Altiplano (0.5 %) and Media (0.5 %) zones; irrigated agriculture in the Huasteca (4.8 %) and Altiplano (1.1 %) areas, and lastly, the grassland in the Altiplano (1.2 %). The higher annual territory losses

rral, donde alcanzó 2.3 % en 14 años. En la Figura 3 se observa que las clases temáticas que incrementaron el área de la vegetación arbolada fueron, principalmente, la agricultura de temporal (2.6 %), el pastizal (0.4 %) y la agricultura de riego (0.3 %).

were: scrub in the Altiplano (-0.2 %), Centro (-1.0 %) and Media (-0.4 %) areas; evergreen and semi-evergreen forest in the Huasteca (-0.9 %) and Media (-2.3 %) zones; deciduous and subdeciduous forest in the Huasteca (-0.3 %) and Media

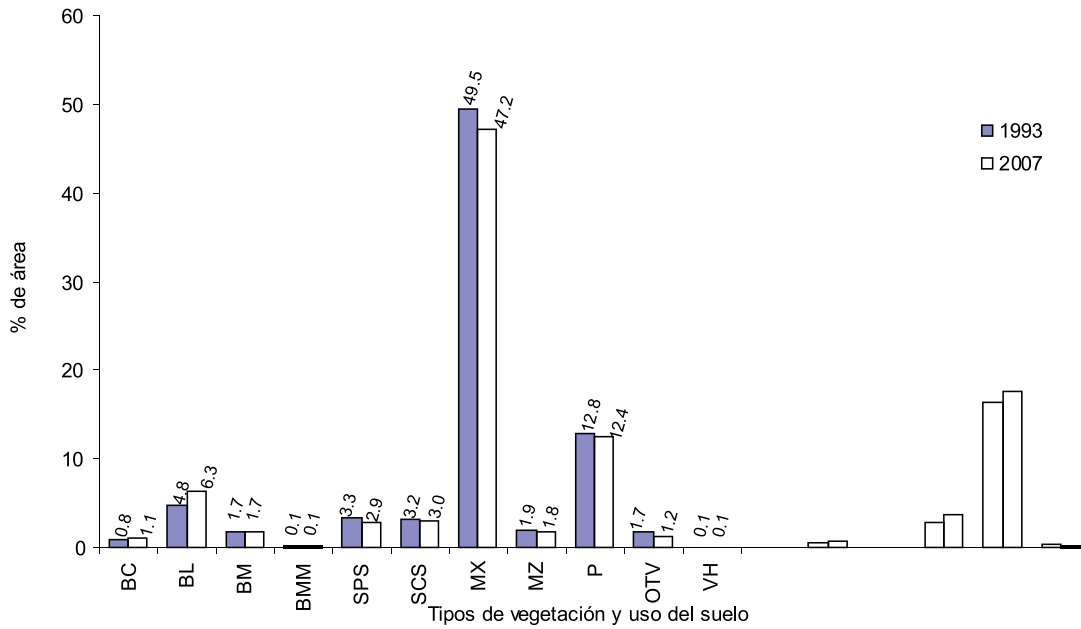


FIGURA 3. Porcentaje de área por tipo de vegetación y uso del suelo en San Luis Potosí. Donde, BC = Bosque de Coníferas; BL = Bosque de Latifoliadas; BM = Bosque Mixto; BMM = Bosque Mesófilo de Montaña; SPS = Selva Perennifolia y Subperennifolia; SCS = Selva Caducifolia y Subcaducifolia; MX = Matorral Xerófilo; MZ = Mezquital; P = Pastizal; OTV = Otros Tipos de Vegetación; VH = Vegetación Hidrófila; ASV = Área sin Vegetación; AH = Asentamiento Humano; PF = Plantación Forestal; AR = Agricultura de Riego; AT = Agricultura de Temporal; CA = Cuerpo de Agua.

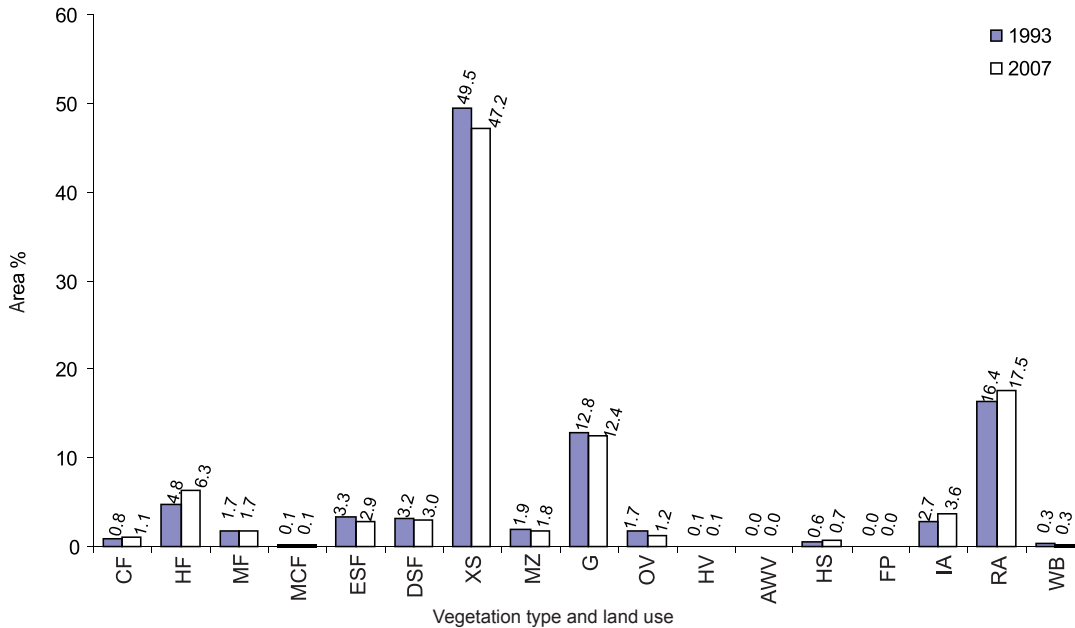


FIGURE 3. Percentage of area by vegetation type and land use in San Luis Potosí. Where: CF= Coniferous Forest, HF= Hardwood Forest, MF= Mixed Forest, MCF= Mountain Cloud Forest, ESF= Evergreen and Semi-evergreen Forest, DSF= Deciduous and Subdeciduous Forest, XS= Xerophytic Scrub, MZ= Mezquital, G= Grassland, OV= Other Vegetation, HV= Hydrophilic Vegetation, AWW= Area without Vegetation, HS= Human Settlement, FP= Forest Plantation, IA= Irrigation Agriculture, RA= Rainfed Agriculture and WB= Water Body.

CUADRO 1. Matriz de cambio de uso del suelo para la serie II (1993) y serie IV (2007) en San Luis Potosí.

	2007														Total (ha)			
	BC	BL	BM	BMM	SPS	SCS	MX	MZ	P	OTV	VH	ASV	AH	PF		AR	AT	CA
1993	48,812.6	12.0	23.0	0.0	0.0	0.0	355.0	0.0	1,212.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	457.0	0.0	50,872.6
	4.0	28,3218.6	259.0	60.0	12.0	232.0	1,241.0	3.0	4,070.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	179.0	5,573.0	1.0	294,853.5
	6.0	342.0	104,242.1	3.0	2.0	0.0	222.0	0.0	1,142.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	192.0	0.0	106,151.1
	0.0	54.0	3.0	74749	2.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.0	0.0	7,627.9
	0.0	44.0	2.0	3.0	159,062.6	3,480.0	0.0	0.0	19,023.8	17.0	127.0	0.0	4.0	0.0	3,845.0	17,628.8	1.0	203,238.3
	0.0	959.0	1.0	0.0	86.0	169,342.6	1,845.0	0.0	5,339.0	63.0	0.0	0.0	412.0	0.0	2,545.0	15,240.9	6.0	195,839.3
	18,119.8	84,663.3	224.0	0.0	0.0	106.0	2,776,923.4	1,417.0	8,327.9	2,380.0	0.0	98.0	1,067.0	0.0	17,244.9	114,196.0	56.0	3,024,823.2
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,618.0	100,426.1	4,746.0	992.0	0.0	0.0	50.0	0.0	2,881.0	7,352.9	2.0	118,068.0
	2,451	7,164.9	1,395.0	125.0	7,075.9	4,789.0	6,926.9	543.0	653,918.4	362.0	265.0	0.0	1,848.0	5.0	38,628.7	56,990.5	96.0	782,584.3
	0.0	3.0	0.0	0.0	144.0	119.0	1,644.0	508.0	26,101.8	71,317.4	1.0	0.0	51.0	0.0	1,473.0	3,139.0	438.0	104,939.1
	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	0.0	0.0	0.0	79.0	15.0	2,108.0	0.0	0.0	0.0	373.0	481.0	1.0	3,133.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	141.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0	0.0	0.0	2.0	777.0	0.0	982.0
	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	5.0	476.0	1.0	21.0	2.0	0.0	11.0	32,945.7	52.0	149.0	1,059.0	17.0	34,740.7
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.0	0.0	0.0	0.0	41.0	82.0	0.0	20.0	0.0	189.0
	0.0	278.0	0.0	0.0	1,264.0	1,258.0	8,865.9	1,493.0	2,514.0	289.0	0.0	0.0	2,026.0	0.0	137,695.8	12,108.9	133.0	167,925.6
	59.0	6,755.9	470	47.0	7,978.9	6,998.9	85,272.3	5,116.0	34,311.7	391.0	100.0	11.0	1,873.0	0.0	16,999.9	837,138.9	45.0	1,003,568.5
	0.0	1.0	0.0	0.0	2.0	3.0	98.0	0.0	50.0	6.0	1,126.0	0.0	140.0	0.0	393.0	490.0	14,515.9	16,824.9
Total (ha)	69,452.4	383,496.7	106,619.1	7,712.9	175,706.5	186,333.4	2,885,628.4	109,507.1	760,909.5	75,834.4	3,727.0	182.0	40,459.7	139.0	222,407.1	1,072,156.9	16,088.9	6,116,360.9

BC = Bosque de Coníferas; BL = Bosque de Latifoliadas; BM = Bosque Mixto; BMM = Bosque Mesófilo de Montaña; SPS = Selva Perennifolia y Subperennifolia; SCS = Selva Caducifolia y Subcaducifolia; MX = Matorral Xerófilo; MZ = Mezquital; P = Pastizal; OTV = Otros Tipos de Vegetación; VH = Vegetación Hidrófila; ASV = Área sin Vegetación; AH = Área sin Vegetación; PF = Plantación Forestal; AR = Agricultura de Riego; AT = Agricultura de Temporal; CA = Cuerpo de Agua.

TABLE 1. Matrix of change for land use for the Series II (1993) and series IV (2007) in San Luis Potosi state.

2007																	
CF	HF	MF	MCF	ESF	DSF	XS	MZ	G	OV	HV	AWV	HS	FP	IA	RA	WB	Total (ha)
CF	48,812.6	12.0	23.0	0.0	0.0	355.0	0.0	1,212.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	457.0	0.0	50,872.6
HF	4.0	28,5218.6	259.0	60.0	12.0	1,241.0	3.0	4,070.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	179.0	5,573.0	1.0	294,853.5
MF	6.0	342.0	104,242.1	3.0	2.0	222.0	0.0	1,142.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	192.0	0.0	106,151.1
MCF	0.0	54.0	3.0	7,474.9	2.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.0	0.0	7,627.9
ESF	0.0	44.0	2.0	3.0	159,062.6	3,480.0	0.0	19,023.8	17.0	127.0	0.0	4.0	0.0	3,845.0	17,628.8	1.0	203,238.3
DSF	0.0	959.0	1.0	0.0	86.0	169,342.6	1,845.0	0.0	5,339.0	0.0	0.0	412.0	0.0	2,545.0	15,240.9	6.0	195,839.3
XS	18,119.8	84,663.3	224.0	0.0	106.0	2,776,923.4	1,417.0	8,327.9	2,380.0	0.0	98.0	1,067.0	0.0	17,244.9	114,196.0	56.0	3,024,823.2
MZ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,618.0	100,426.1	4,746.0	992.0	0.0	0.0	50.0	0.0	2,881.0	7,352.9	2.0	118,068.0
G	2,451	7,164.9	1,395.0	125.0	7,075.9	4,789.0	5,43.0	653,918.4	362.0	265.0	0.0	1,848.0	5.0	38,628.7	56,990.5	96.0	782,584.3
OV	0.0	3.0	0.0	0.0	144.0	119.0	508.0	26,101.8	71,317.4	1.0	0.0	51.0	0.0	1,473.0	3,139.0	438.0	104,939.1
HV	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	0.0	0.0	79.0	15.0	2,108.0	0.0	0.0	0.0	373.0	481.0	1.0	3,133.0
AWV	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,411.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0	0.0	0.0	0.0	2.0	777.0	982.0
HS	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	5.0	476.0	21.0	2.0	0.0	11.0	32,945.7	52.0	149.0	1,059.0	17.0	34,740.7
FP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.0	0.0	0.0	0.0	41.0	82.0	0.0	20.0	0.0	189.0
IA	0.0	278.0	0.0	0.0	1,264.0	1,258.0	1,493.0	2,514.0	289.0	0.0	0.0	2,026.0	0.0	137,695.8	12,108.9	133.0	167,925.6
RA	59.0	6,755.9	47.0	47.0	7,978.9	6,998.9	85,272.3	5,116.0	34,311.7	391.0	11.0	1,873.0	0.0	16,999.9	837,138.9	45.0	1,003,568.5
WB	0.0	1.0	0.0	0.0	3.0	98.0	0.0	50.0	6.0	1,126.0	0.0	140.0	0.0	393.0	490.0	14,515.9	16,824.9
Total (ha)	69,452.4	383,496.7	106,619.1	7,712.9	175,706.5	186,333.4	2,885,628.4	109,507.1	760,909.5	75,834.4	3,727.0	40,459.7	139.0	222,407.1	1,072,156.9	16,088.9	6,116,360.9

CF= Coniferous Forest, HF= Hardwood Forest, MF= Mixed Forest, MCF= Mountain Cloud Forest, ESF= Evergreen and Semi-evergreen Forest, DSF= Deciduous and Subdeciduous Forest, XS= Xerophytic Scrub, MZ= Mezquital, G= Grassland, OV= Other Vegetation, HV= Hydrophilic Vegetation, AWV= Area Without Vegetation, HS= Human Settlement, FP= Forest Plantation, IA= Irrigation Agriculture, RA= Rainfed Agriculture and WB= Water Body.

La TD anual para San Luis Potosí fue de 0.14 %. Los porcentajes antes indicados fueron calculados con base en el área estatal (6, 116,360.9 ha). La matriz de cambio descrita en el Cuadro 1 indica el detalle de los cambios en cada uno de los tipos de vegetación y usos del suelo durante el periodo de análisis.

A nivel de zona biogeográfica

La TC anual (%) en cada zona biogeográfica está influida por la superficie de cada clase temática para cada fecha (Cuadro 2). Los mayores aumentos anuales en la superficie se dieron en el orden siguiente: bosque de latifoliadas en las zonas del Altiplano (17.2 %), Centro (4.1 %) y Media (1 %); agricultura de temporal en las zonas de la Huasteca (1.1 %), Altiplano (0.5 %) y Media (0.5 %); agricultura de riego en las zonas de la Huasteca (4.8 %) y Altiplano (1.1 %); y finalmente, el pastizal en el Altiplano (1.2 %). Las pérdidas mayores anuales de territorio se presentaron en el orden siguiente: matorral en las zonas del Altiplano (-0.2 %), Centro (-1.0 %) y Media (-0.4 %); selva perennifolia y subperennifolia en las zonas de la Huasteca (-0.9 %) y Media (-2.3 %); selva caducifolia y subcaducifolia en las zonas de la Huasteca (-0.3 %) y Media (-0.5 %); el pastizal en la Huasteca (-1.0 %) y el bosque de coníferas en la zona Centro (2.7 %).

La TD anual por zona biogeográfica de San Luis Potosí se puede observar en el Cuadro 3, donde se indica la superficie arbolada inicial (1993) y final (2007). Durante el periodo de análisis, el Altiplano presentó la mayor cantidad de territorio deforestado en términos absolutos (33,216.7 ha) seguido de la Huasteca, la zona Media y la zona Centro. No obstante, respecto al área inicial de cada clase temática, la Huasteca está perdiendo la superficie arbolada (0.51 %) a un ritmo mayor, seguida de las zonas Media y el Altiplano. Con datos de Velázquez et al. (2002) se estimó una TD anual de 0.43 % para la República Mexicana (1976-2000). La selva fue el tipo de vegetación más dañado por el cambio de uso del suelo, principalmente, por las labores agrícolas nómadas como roza-tumba-quema (Salazar-Conde, Zavala-Cruz, Castillo-Acosta, & Cámara-Artigas, 2004).

Localización de la degradación/deforestación

La degradación y la deforestación en la zona Huasteca es evidente en la Figura 4A. Estos fenómenos se explican por el cambio de uso del suelo, de selva a agricultura de temporal, de riego y pastizal. Los resultados de Reyes-Hernández et al. (2006) en los municipios de Tamuín, Ébano y San Vicente Tancuayalab confirman que dichos cambios son propiciados por las condiciones topográficas planas, la alta humedad en el ambiente y los apoyos asignados a la reactivación del agro en esa región. En Xilitla se registró un cambio de bosque mesófilo de montaña a agricultura de temporal. En Tamasopo, Naranjo y Tampacán, la deforestación produjo un cambio de bosque de latifoliadas a agricultura de temporal y a pastizal. En todos los municipios, la degradación se presentó en el pastizal cambiando a agricultura de temporal y de riego.

(-0.5 %) zonas; grassland in the Huasteca area (-1.0 %) and coniferous forest in the Centro zone (2.7 %).

The annual DR by biogeographical zone in San Luis Potosi can be seen in Table 3, which shows the initial (1993) and final (2007) forested area. During the analysis period, the Altiplano had the highest amount of deforested land in absolute terms (33,216.7 ha) followed by the Huasteca, Media and Centro zone. However, with regards to the initial area of each thematic type, the Huasteca is losing forested area (0.51 %) at a higher rate, followed by the Media and the Altiplano areas. With Velázquez et al data (2002), it was estimated an annual DR of 0.43 % for the Mexican Republic (1976-2000). The rainforest vegetation type was the most damaged by land use change, mainly by nomadic agricultural activities such as slash and burn (Salazar-Conde, Zavala-Cruz, Castillo-Acosta, & Cámara-Artigas, 2004).

Locating degradation / deforestation

The degradation and deforestation in the Huasteca zone is evident in Figure 4A. These phenomena are explained by the change in the land use from forest to rainfed agriculture, irrigation and grassland. The results of Reyes-Hernández et al. (2006) in the municipalities of Tamuín, Ébano and San Vicente Tancuayalab confirm that these changes are favored by the plain topography, high humidity in the environment and the support allocated to the reactivation of agriculture in the region. In Xilitla, a change from mountain cloud forest to rainfed agriculture was detected. In Tamasopo, Naranjo and Tampacán, deforestation produced a change from hardwood forest to rainfed agriculture and to grassland. In all municipalities, the degradation occurred in the grassland changing to rainfed and to irrigation agriculture.

Media zone showed large deforested areas in Villa Juárez, Ciudad del Maíz, Río Verde, Alaquines and Cárdenas. In these municipalities, mezquital led to grasslands, human settlement, irrigation and rainfed agriculture, and other types of vegetation. On the other hand, forests changed to grasslands and to rainfed agriculture in Ciudad del Maíz, Río Verde, San Nicolás Tolentino, Alaquines, Cárdenas, Rayón, Lagunillas, Santa Catarina and San Cirilo de Acosta. The forests changed to irrigation and rainfed agriculture, and to grasslands in Río Verde, Ciudad Fernández, Rayón, Lagunillas and Santa Catarina.

In the eleven municipalities of the Centro zone, the xerophytic scrub switched to human settlement, to grassland and to rainfed agriculture. In this area, deforestation was lower with respect to the Huasteca and Media zones due to lack of moisture. The forests switched to grassland and to rainfed agriculture in most municipalities, except in the metropolitan areas of San Luis Potosí such as Soledad de Graciano Sánchez and Cerro de San Pedro. To a lesser extent, mezquital changed to rainfed and irrigation agriculture in Soledad de Graciano Sánchez and Armadillo de los Infante municipalities.

CUADRO 2. Presencia de cada clase temática por zona biogeográfica para cada fecha de análisis.

Clase	Altiplano		Centro		Media		Huasteca	
	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007
BC	7,518.9	7,758.9	41,913.5	60,697.2	1,312.0	867.0	128.0	129.0
BL	3,580.0	32,942.7	43,884.5	77,163.0	163,956.3	189,057.4	83,433.6	84,334.5
BM	6,945.9	6,999.9	47,881.4	48,318.4	39,987.1	39,886.1	11,336.8	11,414.8
BMM					3,750.0	3,828.0	3,877.9	3,884.9
SPS					15,783.0	11,450.0	187,453.8	164,255.2
SCS					44,958.1	41,706.1	150,880.4	144,626.5
MX	2,111,175.3	2,048,901.8	314,855.1	272,278.6	594,617.1	562,225.1	4,180.9	2,228.0
MZ	29,384.8	28,784.8	12,008.9	97,72.9	76,675.1	70,950.1		
P	135,775.9	161,151.6	223,208.2	221,747.2	40,888.1	44,473.1	382,708.4	333,534.2
OTV	56,132.5	26,628.8	263.0	287.0	41,411.1	43,153.1	7,132.9	5,765.9
VH							3,132.9	3,726.9
ASV	967.0	172.0			15.0	10.0		
AH	10,067.9	9,208.9	13,538.8	16,390.8	5,965.0	7,060.0	5,168.9	7,799.9
PF			189.0	139.0				
AR	51,602.6	59,826.5	39,268.5	44,878.4	36,091.1	38,373.1	40,963.3	79,328.6
AT	427,090.4	456,718.2	149,781.1	135,814.3	186,377.4	198,799.4	240,318.8	280,824.1
CA	3,802.0	4,949.0	3,196.0	2,501.0	1,357.0	1,305.0	8,469.9	7,333.9
Total (ha)	2,844,043.2	2,844,043.2	889,988.0	889,988.0	1,253,143.4	1,253,143.4	1,129,186.5	1,129,186.5

BC = Bosque de Coníferas; BL = Bosque de Latifoliadas; BM = Bosque Mixto; BMM = Bosque Mesófilo de Montaña; SPS = Selva Perennifolia y Subperennifolia; SCS = Selva Caducifolia y Subcaducifolia; MX = Matorral Xerófilo; MZ = Mezquitil; P = Pastizal; OTV = Otros Tipos de Vegetación; VH = Vegetación Hidrófila; ASV = Área sin Vegetación; AH = Asentamiento Humano; PF = Plantación Forestal; AR = Agricultura de Riego; AT = Agricultura de Temporal; CA = Cuerpo de Agua.

TABLE 2. Occurrence of each thematic type by biogeographical zone for each analysis date.

Clase	Altiplano		Centro		Media		Huasteca	
	1993	2007	1993	2007	1993	2007	1993	2007
CF	7,518.9	7,758.9	41,913.5	60,697.2	1,312.0	867.0	128.0	129.0
HF	3,580.0	32,942.7	43,884.5	77,163.0	163,956.3	189,057.4	83,433.6	84,334.5
MF	6,945.9	6,999.9	47,881.4	48,318.4	39,987.1	39,886.1	11,336.8	11,414.8
MCF					3,750.0	3,828.0	3,877.9	3,884.9
ESF					15,783.0	11,450.0	187,453.8	164,255.2
DSF					44,958.1	41,706.1	150,880.4	144,626.5
XS	2,111,175.3	2,048,901.8	314,855.1	272,278.6	594,617.1	562,225.1	4,180.9	2,228.0
MZ	29,384.8	28,784.8	12,008.9	97,72.9	76,675.1	70,950.1		
G	135,775.9	161,151.6	223,208.2	221,747.2	40,888.1	44,473.1	382,708.4	333,534.2
OV	56,132.5	26,628.8	263.0	287.0	41,411.1	43,153.1	7,132.9	5,765.9
HV							3,132.9	3,726.9
AWV	967.0	172.0			15.0	10.0		
HS	10,067.9	9,208.9	13,538.8	16,390.8	5,965.0	7,060.0	5,168.9	7,799.9
FP			189.0	139.0				
IA	51,602.6	59,826.5	39,268.5	44,878.4	36,091.1	38,373.1	40,963.3	79,328.6
RA	427,090.4	456,718.2	149,781.1	135,814.3	186,377.4	198,799.4	240,318.8	280,824.1
WB	3,802.0	4,949.0	3,196.0	2,501.0	1,357.0	1,305.0	8,469.9	7,333.9
Total (ha)	2,844,043.2	2,844,043.2	889,988.0	889,988.0	1,253,143.4	1,253,143.4	1,129,186.5	1,129,186.5

CF= Coniferous Forest, HF= Hardwood Forest, MF= Mixed Forest, MCF= Mountain Cloud Forest, ESF= Evergreen and Semi-evergreen Forest, DSF= Deciduous and Subdeciduous Forest, XS= Xerophytic Scrub, MZ= Mezquitil, G= Grassland, OV= Other Vegetation, HV= Hydrophilic Vegetation, AWV= Area Without Vegetation, HS= Human Settlement, FP= Forest Plantation, IA= Irrigation Agriculture, RA= Rainfed Agriculture and WB= Water Body.

CUADRO 3. Cambio en vegetación arbolada y tasa de deforestación anual por zona biogeográfica.

Zona	S ₁ (1993) (ha)	S ₂ (2007) (ha)	Diferencia (ha)	TD (%)
Altiplano	2,158,604.9	2,125,388.2	-33,216.7	0.11
Centro	460,543.3	468,230.2	7,686.9	-0.12
Media	941,038.8	919,969.7	-21,069.1	0.16
Huasteca	441,291.4	410,872.9	-30,418.5	0.51

S₁ = Superficie inicial; S₂ = Superficie final; TD = Tasa de deforestación (+ deforestación, - recuperación).

TABLE 3. Change in forest areas and annual deforestation rate by biogeographical zone.

Zone	A ₁ (1993) (ha)	A ₂ (2007) (ha)	Difference (ha)	DR (%)
Altiplano	2,158,604.9	2,125,388.2	-33,216.7	0.11
Centro	460,543.3	468,230.2	7,686.9	-0.12
Media	941,038.8	919,969.7	-21,069.1	0.16
Huasteca	441,291.4	410,872.9	-30,418.5	0.51

A₁ = initial area, A₂ = final area, DR= Deforestation rate (+ deforestation, - recovery)

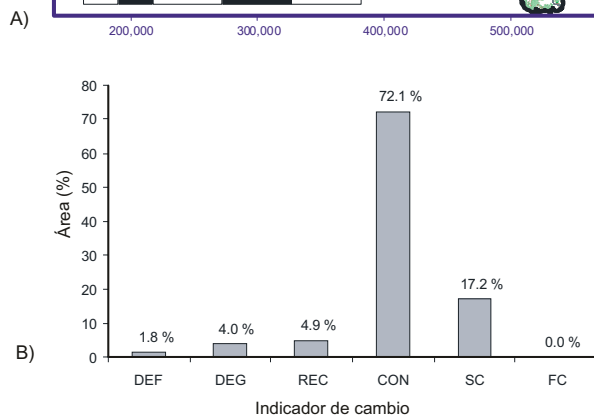
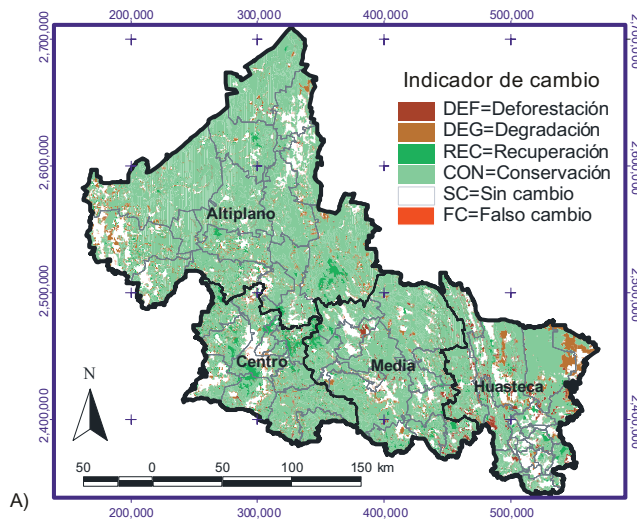


FIGURA 4. Cambio de uso del suelo en San Luis Potosí de un total de 6,116,360.9 ha. A) Distribución espacial, B) Área por indicador de cambio.

La zona Media presentó grandes superficies deforestadas en Villa Juárez, Ciudad del Maíz, Río Verde, Alaquines y Cárdenas. En estos municipios, el mezquital dio paso al pastizal, asentamiento humano, agricultura de riego, de temporal, y otros tipos de vegetación. Por otro lado, los bosques cambiaron a pastizal y a agricultura de temporal, en Ciudad del Maíz, Río Verde, San Nicolás Tolentino, Alaquines, Cárdenas, Rayón, Lagunillas, Santa Catarina y San Ciró de Acosta. Las selvas cambiaron a agricultura de temporal, de

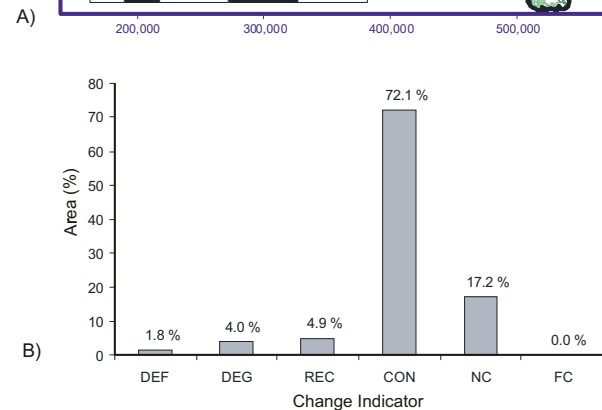
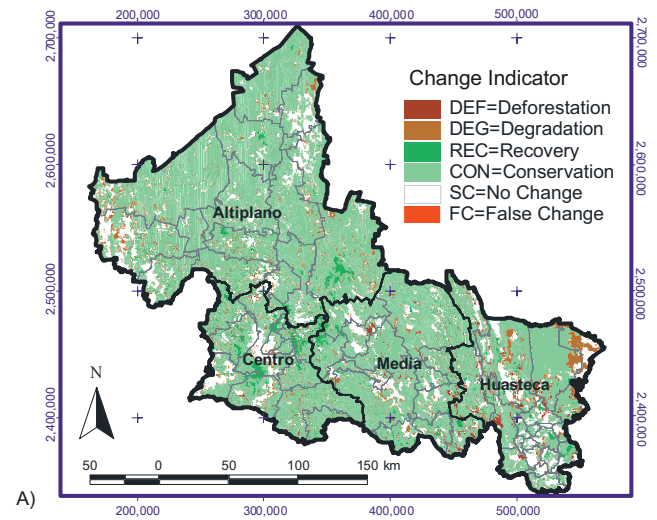


FIGURE 4. Change of land use in San Luis Potosi for a total of 6,116,360.9 ha. A) Spatial distribution, B) Area by change indicator.

Finally, in the Altiplano zone, deforestation was minimal, with mezquital being the most affected as it switched to grassland and irrigated agriculture in Charcas, Guadalcázar and Villa de Ramos. The xerophytic scrub changed to grassland and human settlement in Santo Domingo, Villa de la Paz, Guadalcázar and Salinas. Degradation of xerophytic scrub was present in all municipalities in the Altiplano, while mezquital degradation was only in Villa de Ramos. Interestingly, the Consejo Nacional de Población

riego y a pastizal, en Río Verde, Ciudad Fernández, Rayón, Lagunillas y Santa Catarina.

En los once municipios de la zona Centro, el matorral xerófilo cambió a asentamiento humano, a pastizal y a agricultura de temporal. En esta zona, la deforestación fue menor con respecto a la zona de la Huasteca y Media debido a la ausencia de humedad. Los bosques cambiaron a pastizal y a agricultura de temporal en la mayoría de los municipios, excepto en los conurbados a la zona metropolitana de San Luis Potosí como Soledad de Graciano Sánchez y Cerro de San Pedro. En cantidad menor, el mezquital cambió a agricultura de riego y de temporal en los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez y Armadillo de los Infante.

Finalmente, en la zona del Altiplano, la deforestación fue mínima siendo el mezquital el más afectado, ya que cambió a pastizal y agricultura de riego en Charcas, Guadalcázar y Villa de Ramos. El matorral xerófilo cambió a pastizal y asentamiento humano en Santo Domingo, Villa de la Paz, Guadalcázar y Salinas. La degradación del matorral xerófilo estuvo presente en todos los municipios de la zona Altiplano, mientras que la degradación del mezquital sólo en Villa de Ramos. Como dato interesante, el Consejo Nacional de Población (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2002) reporta un alto grado de migración de la población en Alaquines, Villa Juárez, Rayón, San Ciro de Acosta, San Nicolás Tolentino, Mexquitic de Carmona, Tierra Nueva y Santo Domingo, coincidiendo con los municipios que tienen grandes territorios sin cambio. Esta información resulta valiosa en la búsqueda de las causas de la conservación de los tipos de vegetación en las zonas biogeográficas de San Luis Potosí.

Con el objeto de comparar los resultados obtenidos con otros estudios, se presentan algunos casos por tipo de ecosistema; zonas áridas, templadas y tropicales. En general, en las zonas áridas y semiáridas de México, el escenario no ha sido diferente. Los matorrales también han sido afectados en gran medida por los procesos de degradación/deforestación. Márquez-Linares, Treviño-Garza, y Jurado (2005) reportan una tasa de deforestación anual de 2.4 % de las áreas arboladas (bosque a pastizal) en una microcuenca que abastece de agua a las regiones agrícolas del valle del Guadiana en Durango. Antonio-Némiga, Treviño-Garza, Jiménez-Pérez, Villalón-Mendoza, y Návar-Chaidez (2006) concluyen que el factor grado de pendiente propicia inversamente la deforestación de los matorrales de la cuenca del Río Pilón, en Nuevo León, México. Rosete-Vergés et al. (2009) encontraron en la península de Baja California un cambio (en 22 años) de matorral a pastizal, agricultura y asentamientos humanos. La conservación forestal en ecosistemas áridos es cierta, aunque existen pocos estudios que lo confirmen. Chapa-Bezanilla et al. (2008) señalan que los matorrales de pingüica (*Arctostaphylos pungens* Kunth.) en la Sierra Fría de Aguascalientes se han mantenido al paso del tiempo sugiriendo un equilibrio en las tasas de aprovechamiento y la recuperación del ecosistema.

ción (National Population Council [CONAPO], 2002) reports very high population migration in Alaquines, Villa Juárez, Rayón, San Ciro de Acosta, San Nicolás Tolentino, Mexquitic de Carmona, Tierra Nueva and Santo Domingo, coincidentally with the municipalities that have large unchanged territories. This information is valuable when searching for the causes of vegetation conservation in the biogeographical areas of San Luis Potosí.

In order to compare these results with other studies, some cases are presented by ecosystem type: arid, temperate and tropical zones. In general, in arid and semiarid regions of Mexico, the scenario was no different. Shrubland has also been significantly affected by the degradation / deforestation processes. Márquez-Linares, Treviño-Garza, and Jurado (2005) reported an annual deforestation rate of 2.4 % of forested areas (forest to grassland) in a watershed that supplies water to the agricultural regions of the Valle del Guadiana in Durango state, Mexico. Antonio-Némiga, Treviño-Garza, Jiménez-Pérez, Villalón-Mendoza, and Návar-Chaidez (2006) concluded that the slope gradient inversely promotes deforestation of shrublands in the Río Pilón basin, in Nuevo León, México. Rosete-Vergés et al. (2009) found in the peninsula of Baja California a change (in 22 years) from shrubland to grassland, agriculture and human settlements. Forest conservation in arid ecosystems is real, but there are few studies to support it. Chapa Bezanilla et al. (2008) showed that Pingüica scrub (*Arctostaphylos pungens* Kunth.) has survived over time in the Sierra Fria, Aguascalientes, Mexico, suggesting equilibrium between the utilization rate and ecosystem recovery.

In temperate zones of Mexico, several authors have estimated different DR values. For example, Pineda-Jaimes et al. (2008) reported for the State of Mexico, an annual deforestation rate of 0.2 % of the coniferous, hardwood, mixed and mountain cloud forests; Franco-Mass et al. (2006) estimated an annual DR of 0.3 % of coniferous and hardwood forests in the Parque Nacional Nevado de Toluca, Mexico state, during 1972-2000 period. Gómez-Mendoza, Vega-Peña, Ramírez, Palacio-Prieto, and Galicia (2006) reported for Sierra Norte de Oaxaca (1980-2000) area, an annual deforestation rate of 3 % of the pine forests that shifted to rainfed agriculture.

As for Mexican rainforests, Reyes-Hernández et al. (2006) reported that more than 88,056 ha ($A_1 = 98,272$ ha, $A_2 = 10,216$ ha) of rainforests were deforested at an annual rate of 11.1 % in the 1973-1985 period, 6.6 % in the 1985-1990 period and 5.42 % in 1990-2000 period. These results were caused primarily by the conversion of forest land to ranching activities in the Huasteca Potosina area. Castellán-Vega et al. (2007) reported that the rainforests had an annual DR of 4.24 % in the San Marcos sub-basin, Puebla, during the 1993-2000 period due to agricultural work. An opposite case is that of Dupuy-Rada et al. (2007), who found a recovery in rainforests explained by the collapse

En las zonas templadas de México, diversos autores han encontrado diferentes TD. Por ejemplo, Pineda-Jaimes et al. (2008) reportan para el Estado de México, una tasa de deforestación anual de 0.2 % de los bosques de coníferas, latifoliadas, mixto y mesófilo de montaña; Franco-Mass et al. (2006) estimaron una TD anual de 0.3 % de bosques de coníferas y latifoliadas en el Parque Nacional Nevado de Toluca, Estado de México, en el periodo 1972-2000. Gómez-Mendoza, Vega-Peña, Ramírez, Palacio-Prieto, y Galicia (2006) reportan para la Sierra Norte de Oaxaca (1980-2000) una TD anual de 3 % en los bosques de pino con un cambio a agricultura de temporal.

En el caso de las selvas mexicanas, Reyes-Hernández et al. (2006) mencionan que más de 88,056 ha ($S_1 = 98,272$ ha, $S_2 = 10,216$ ha) de selvas fueron deforestadas a una tasa anual del 11.1 % de 1973 a 1985, 6.6 % de 1985 a 1990 y 5.42 % de 1990 a 2000. Dichos resultados fueron causados, principalmente, por la reconversión de terrenos forestales a actividades ganaderas en la Huasteca potosina. Castelán-Vega et al. (2007) reportaron que las selvas tuvieron una TD de 4.24 % anual en la subcuenca San Marcos, Puebla, durante el periodo 1993-2000 debido a las labores agropecuarias. Un caso contrario es el de Dupuy-Rada et al. (2007), quienes encontraron una recuperación en selvas explicada por el fracaso y abandono de las sociedades ganaderas en los años 1980, en Quintana Roo, México.

En la literatura, los casos de degradación/deforestación son más frecuentes, aunque algunas veces se evidencia la conservación/recuperación de los ecosistemas (Antonio-Némiga et al., 2006; Chapa-Bezanilla et al., 2008; Dupuy-Rada et al., 2007). San Luis Potosí puede considerarse un área representativa del panorama nacional, debido a que presenta tendencias similares de deforestación en las zonas Huasteca, Altiplano y Media, y de conservación en la zona Centro donde se encuentra la capital del estado.

CONCLUSIONES

Las TD del Altiplano y la zona Media responden a una similitud de condiciones entre dichas zonas biogeográficas. La agricultura de temporal y el pastizal desplazaron al matorral, principalmente, en Villa Hidalgo, Moctezuma y Vanegas. La zona Centro registró una TD negativa, lo que corresponde a una zona de recuperación. El matorral mejoró su densidad forestal y en la cartografía fue mapeado como bosque de coníferas con vegetación secundaria interpretándolo como una recuperación en Villa de Reyes, San Luis Potosí y Armadillo de los Infante. En la zona Media, San Nicolás Tolentino y Santa Catarina registraron una recuperación. La zona Huasteca fue la más afectada por la deforestación debido al cambio de la selva perennifolia y subperennifolia a agricultura de temporal en Aquismón, Tamasopo, Tamuín y Ciudad Valles. Aunque se registraron altos valores absolutos en deforestación (ha), las tasas anuales (%) fueron relativamente bajas. La información generada sobre degradación/

and abandonment of cattle associations in the 1980s, in Quintana Roo, Mexico.

In the literature, the more common cases are those of degradation/ deforestation, although sometimes it is more evident the preservation/ restoration of ecosystems (Antonio-Némiga et al., 2006; Chapa-Bezanilla et al., 2008; Dupuy-Rada et al., 2007). San Luis Potosí can be considered a representative area of the national scenario, because it shows similar deforestation trends in the Huasteca, Altiplano and Media zones, and conservation in the Centro zone where the state capital is located.

CONCLUSIONS

The deforestation rates (DR) of the Altiplano and the Media areas reflect a similarity of conditions between these biogeographical zones. Rainfed agriculture and grassland displaced shrublands mainly in Villa Hidalgo, Moctezuma and Vanegas. The Centro region recorded a negative DR, corresponding to a recovery area. The shrublands improved its forest density and in the cartography it was mapped as coniferous forest with secondary vegetation interpreting it as a recovery in Villa de Reyes, San Luis Potosi and Armadillo de los Infante. In the Media zone, there was a recovery in San Nicolás Tolentino and Santa Catarina. Huasteca was the area most affected by deforestation due to the change of evergreen and semi-evergreen forest to rainfed agriculture in Aquismón, Tamasopo, Tamuín and Ciudad Valles. Although absolute deforestation values were high (ha), the annual rates (%) were relatively low. The information generated on degradation / deforestation in San Luis Potosi is current and reliable, and can be used in the design of plans and programs for restoration/ ecosystem recovery statewide.

deforestación en San Luis Potosí, es actual y confiable, y puede ser usada en el diseño de planes y programas de restauración/recuperación del ecosistema a nivel estatal.

REFERENCIAS

- Antonio-Némiga, X., Treviño-Garza, E. J., Jiménez-Pérez, J., Villalón-Mendoza, H., & Nívar-Chaidez, J. J. (2006). Cambios en la vegetación en la subcuenca del Río Pílon, Nuevo León, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 5–11. Obtenido de <http://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/52b324845eaa7cf519d37a9a2dc1396d.pdf>
- Castelán-Vega, R., Ruíz-Careaga, J., Linares-Fleites, G., Pérez-Avilés, 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 Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 64, 75–89. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=56906406>
- Chapa-Bezanilla, D., Sosa-Ramírez, J., & Alba-Ávila, V. (2008). Estudio multitemporal de fragmentación de los bosques en la Sierra Fria, Aguascalientes, México. *Madera y Bosques*, 14(1), 37–51. Obtenido de redalyc.uaemex.mx/pdf/617/61714104.pdf
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35–46. doi:10.1016/0034-4257(91)90048-B
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2002). *Índices de intensidad migratoria México-Estados Unidos, 2000*. Obtenido de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Intensidad_Migratoria_Mexico-Estados_Unidos_2000
- Dupuy-Rada, J. M., González-Iturbe, J. A., Iriarte-Vivar, S., Calvo-Irabien, L. M., Espadas-Manrique, C., Tun-Dzul, F., & Dorantes-Euan, A. (2007). Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noreste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 62, 104–124. Obtenido de redalyc.uaemex.mx/pdf/569/56906207.pdf
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1996). *Forest resources assesment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Rome, Italy: Autor.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Informe principal. Rome, Italy: Autor.
- Franco-Mass, S., Regil-García, H. H., & Ordóñez-Díaz, J. A. B. (2006). Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. *Madera y Bosques*, 12(1), 17–28. Obtenido de redalyc.uaemex.mx/pdf/617/61712103.pdf
- Gómez-Mendoza, L., Vega-Peña, E., Ramírez, M. I., Palacio-Prieto, J. L., & Galicia, L. (2006). Projecting land-use change processes in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Applied Geography*, 26, 276–290. doi: 10.1016/j.apgeog.2006.09.003
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (2005). *Estado de San Luis Potosí. Enciclopedia de los municipios de México*. Consultado 15-01-2011 en <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sanluispotosi/regi.htm>
- Márquez-Linares, M. A., Treviño-Garza, E. J., & Jurado, E. (2005). Reemplazo de áreas arboladas por chaparrales y comunidades herbáceas en el período 1970-2000 en una microcuenca de Durango, México. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 58, 54–65. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=56905806>
- Pineda-Jaimes, N. B., Bosque-Sendra, J., Gómez-Delgado, M., & Plata-Rocha, W. (2008). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 69, 33–52. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=56912295004>
- Pinedo-Álvarez, C., Pinedo-Álvarez, A., Quintana-Martínez, A., & Martínez-Salvador, M. (2007). Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra Madre Occidental, Chihuahua, México. *Tecnociencia*, 1(1), 36–43. Obtenido de http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n1/data/analisis_de_areas_deforestadas.pdf
- Reyes-Hernández, H., Aguilar-Robledo, M., Aguirre-Rivera, J. R., & Trejo-Vázquez, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 59, 26–42. Obtenido de redalyc.uaemex.mx/pdf/569/56905903.pdf
- Rosete-Vergés, F., Pérez-Damián, J. L., & Bocco, G. (2009). Contribución al análisis de cambios de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la península de Baja California, México. *Investigación ambiental. Ciencia y Política Pública*, 1, 70–82. Obtenido de www.ejournal.unam.mx/rig/RIG067/RIG000006703.pdf
- Salazar-Conde, E. C., Zavala-Cruz, J., Castillo-Acosta, O., & Cámara-Artigas, R. (2004). Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México (1973-2003). *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía UNAM*, 54, 7–23. Obtenido de redalyc.uaemex.mx/pdf/569/56905402.pdf
- Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Estado de San Luis Potosí (SEGAM) & Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). (2008). *Plan de ordenamiento ecológico del estado de San Luis Potosí*. Obtenido de <http://www.segam.gob.mx/descargas.htm>
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., ... Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62, 21–37. Obtenido de redalyc.uaemex.mx/pdf/539/53906202.pdf