

PÉRDIDA ESTIMADA DE BOSQUE TROPICAL SECO EN CARÁCUARO, MICH., MÉXICO (2004-2012) A PARTIR DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMÁGENES SPOT

ESTIMATED LOSS OF TROPICAL DRY FOREST IN CARÁCUARO, MICH., MEXICO (2004-2012) BASED ON COMPARATIVE ANALYSIS OF SPOT IMAGES

Zaragoza-Peralta, Leni¹; Mota-Narváez, Luis Alberto²; España Boquera, María Luisa^{3*}; Champo-Jiménez, Omar³; Gutiérrez-Vázquez, Ernestina³.

¹Estudiante, Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Puebla. MÉXICO.

²Estudiante, Instituto Tecnológico de Concha. Querétaro. MÉXICO.

³Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Tarímbaro, Michoacán, MÉXICO.

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

RESUMEN

El bosque tropical seco (BTS) está sufriendo un rápido deterioro en el estado de Michoacán, México, por el pastoreo y la agricultura de temporal. El objetivo de este estudio fue analizar la pérdida del bosque tropical seco en el municipio de Carácuaro, Mich., entre 2004 y 2012, utilizando dos imágenes SPOT (10m). Se realizó una clasificación no supervisada de 20 clases de las imágenes preprocesadas y se calculó el NDVI promedio de cada clase. Las clases se reagruparon según rangos de NDVI en: vegetación de hoja perenne, de hoja caduca (BTS) y suelo. Las clasificaciones se validaron (95.5 %) con 2000 px/cobertura con imágenes pancromáticas SPOT (2.5m) de las mismas fechas. Se obtuvieron la matriz y el mapa de cambios. Éstos se produjeron en todo el municipio, afectando al 24.75 % de la superficie. En el periodo estudiado, el 18.73 % (13,926.59 ha) de la superficie de BTS sufrió algún tipo de cambio: el 14.3 % (10,665.13 ha) pasó a ser suelo y el resto vegetación de hoja perenne (probablemente arbustiva). Por otra parte, 5,290.52 ha de suelo se recuperaron como BTS, si bien se puede pensar que sufrieron una pérdida de biodiversidad.

PALABRAS CLAVE: Selva caducifolia, deforestación, ganadería extensiva, Tierra Caliente, clasificación no supervisada.

ABSTRACT

Tropical dry forests (TDFs) have experienced rapid deterioration in the state of Michoacán, Mexico, mainly due to the opening up of these areas for grazing and rain-fed agriculture. The aim of this study was to analyze the loss of TDFs in the municipality of Carácuaro, Mich., from 2004-2012, using two SPOT images (10m). The images were pre-processed and an unsupervised classification of 20 classes was performed; the average Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of each class was calculated. The classes were regrouped, based on NDVI ranges, into three cover types: evergreen vegetation, deciduous vegetation (TDF) and soil. The classifications were validated (95.5 %) with 2000 px/coverage with SPOT panchromatic images (2.5m) for the same dates. The matrix and the map showing the changes were obtained. Changes occurred throughout the municipality, affecting 24.75 % of the total area. In the studied period, 18.73 % (13,926.59 ha) of the TDF area underwent some type of change: 14.3 % (10,665.13 ha) became soil, and the rest became evergreen vegetation (probably shrubs). On the other hand, 5,290.52 ha of soil were recovered as TDF, although they may have lost biodiversity.

KEYWORDS: Deciduous forest, deforestation, cattle ranching, Tierra Caliente, unsupervised classification.



Recibido: 5 de agosto, 2013
Aceptado: 10 de febrero, 2014
<http://www.chapingo.mx/revistas>
doi: 10.5154/r.rchsza.2013.08.002

INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales secos (BTS), conocidos también como selvas caducifolias, se distribuyen por todas las regiones tropicales del mundo (Miles *et al.*, 2006) y fueron una vez el ecosistema primario a lo largo de la Costa del Pacífico de América Central (Pringle *et al.*, 2011; Werneck, Costa, Colli, Prado, & Sites, 2011), cubriendo 550,000 km² en la época de la Conquista (Quesada & Stoner, 2004). Estas coberturas se encuentran en lugares donde las condiciones climáticas se caracterizan por una sola estación de lluvias en verano, con 500 a 2,000 mm de precipitación anual y altas temperaturas, y de cuatro a seis meses de poca o ninguna precipitación, con temperaturas templadas o calurosas (Kalacska *et al.*, 2004). Los bosques tropicales secos corresponden al 42 % del total de bosques tropicales (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005) y presentan una alta biodiversidad de flora y fauna, con un gran número de endemismos. Los árboles en estos bosques forman una bóveda continua o casi continua, bajo la cual se desarrolla una capa de arbustos y otra de vegetación herbácea. La mayoría de las especies son caducifolias, principalmente en las laderas, donde el suelo tiene una baja retención de agua; también se encuentran especies de hoja perenne, a lo largo de los cursos de agua y en las zonas ribereñas (Pringle *et al.*, 2011).

En los últimos años en América del Sur se está produciendo la destrucción masiva de estos ecosistemas (se considera que el 66 % ya ha sido destruido), muchas veces como consecuencia de programas gubernamentales que buscan la “utilización provechosa de tierras inútiles” (Caetano *et al.*, 2008; Maass *et al.*, 2005; Quesada *et al.*, 2009). En muchas comunidades pobres es costumbre que se deforesten y quemen zonas de selva, para dedicarlas a la ganadería extensiva y a la agricultura de temporal. Estas parcelas se cultivan dos o tres años, y después se abandonan (Quesada y Stone, 2004), pudiendo llegar a ser de nuevo selvas; sin embargo, la estructura y composición florística finales no serán las mismas que en un ecosistema no perturbado (Kalacska *et al.*, 2004), debido a la reproducción por semillas y la tasa de crecimiento lenta de las plantas (Quesada *et al.*, 2009).

En México los BTS se encuentran principalmente en la Costa del Pacífico y la Península de Yucatán. Michoacán es uno de los estados de México con mayor presencia de BTS. Bocco *et al.* (2001) reportan que en los años 70s había en Michoacán 1,827.232 ha, el 30 % de la superficie del estado, similar a la superficie ocupada por el bosque templado, y en los años 90s la superficie total de BTS se redujo a poco más de 1.5 millones de hectáreas (25.6 %), con 1,129.096 ha conservadas y 389,844 ha perturbadas. Así, en menos de 20 años se perdieron más de 300,000 ha de BTS, siendo los municipios con mayor índice de pérdida: Turicato, Carácuaro, Epitacio Huerta, Charo y Parácuaro. No existen trabajos recientes que permitan actualizar estas cifras.

El objetivo de este trabajo es estudiar la pérdida de BTS en el municipio de Carácuaro en los últimos ocho años (2004

INTRODUCTION

Tropical dry forests (TDFs), also known as deciduous forests, are distributed throughout every tropical region of the world (Miles *et al.*, 2006) and were once the primary ecosystem along the Pacific Coast of Central America (Pringle *et al.*, 2011; Werneck, Costa, Colli, Prado, & Sites, 2011), covering 550,000 km² at the time of the Spanish Conquest (Quesada & Stoner, 2004). These covers are found in places where climatic conditions are characterized by a single rainy season in summer, with 500 to 2,000 mm of annual rainfall and high temperatures, and four to six months of little or no rainfall, with warm or hot temperatures (Kalacska *et al.*, 2004). Tropical dry forests account for 42 % of all tropical forests (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2005) and have a high biodiversity of flora and fauna with many endemic species. The trees in these forests form a continuous or nearly continuous vault, under which a layer of bushes and another of herbaceous vegetation grow. The majority of the species are deciduous, mainly on the slopes, where the soil has low water retention; evergreen species are found along watercourses and in riverside areas (Pringle *et al.*, 2011).

There has been a massive destruction of these ecosystems in South America in recent years (it is assumed that 66 % has already been destroyed), often as a result of government programs which seek to “make profitable use of useless land” (Caetano *et al.*, 2008; Maass *et al.*, 2005; Quesada *et al.*, 2009). In many poor communities it is customary to deforest and burn forest areas in order to use them for cattle ranching and rain-fed agriculture. These plots are cultivated for two or three years and then abandoned (Quesada and Stone, 2004), and can become forests again; however, the final floristic structure and composition will not be the same as in an undisturbed ecosystem (Kalacska *et al.*, 2004), due to reproduction by seed and the low growth rate of the plants (Quesada *et al.*, 2009).

In Mexico the TDFs are mainly on the Pacific Coast and the Yucatán Peninsula. Michoacán is one of the states of Mexico with the greatest presence of TDFs. Bocco *et al.* (2001) report that in the 70s Michoacán had 1,827.232 ha of TDFs, or 30 % of the state area, which was similar to the area occupied by temperate forest, and in the 90s the total TDF area decreased to little more than 1.5 million hectares (25.6 %), with 1,129.096 hectares preserved and 389,844 hectares disturbed. Thus, in less than 20 years more than 300,000 hectares of TDF were lost, particularly in the municipalities of Turicato, Carácuaro, Epitacio Huerta, Charo and Parácuaro. There are no recent studies that allow updating these figures.

The aim of this research is to study the loss of TDF in the municipality of Carácuaro over an eight-year period (2004 to 2012), based on a comparative analysis of high-resolution satellite images. Particularly, it seeks to: (1) quantitatively estimate the area of TDF lost and disturbed in the municipality of Carácuaro; (2) to determine the spatial distribution of the land-use changes in Carácuaro.

a 2012), a partir del análisis comparativo de imágenes satelitales de alta resolución. En particular, se busca: (1) estimar cuantitativamente la superficie de BTS perdida y perturbada en el municipio de Carácuaro; (2) conocer la distribución espacial de los cambios de uso de suelo en el municipio de Carácuaro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El municipio de Carácuaro se localiza al sureste del estado de Michoacán, México, en las coordenadas 19° 12' y 18° 48' N y 101° 14' y 100° 51' W, con altitudes entre 400 y 1,600 metros, en la llamada Tierra Caliente (Figura 1). Su superficie es de 981.11 km², el 1.66 % de la superficie del estado. Es un municipio pobre y poco habitado, con 9,337 habitantes, que viven en la cabecera municipal, Carácuaro de Morelos (3,407 habitantes), la población Paso de Núñez (1,216 habitantes) y 200 pequeñas comunidades de entre 500 y 10

MATERIALS AND METHODS

Study zone

The municipality of Carácuaro is located in the southeastern region of the state of Michoacán, Mexico, 19°12' and 18° 48' N and 101° 14' and 100° 51' W, with elevations between 400 and 1,600 meters, in what is called "*Tierra Caliente*" (Figure 1). It covers 981.11 km², representing 1.66 % of the state area. It is a poor and sparsely-populated municipality, with 9,337 inhabitants, some of whom live in the municipal seat of Carácuaro de Morelos (3,407 inhabitants), others in the settlement of Pas de Núñez (1,216 inhabitants) and the rest in 200 small communities that have between 500 and 10 residents (INEGI, 2005). Its climate is tropical with summer rainfall and a more than six-month dry season. Annual rainfall is 749.3 mm, with temperatures of 19.7 to 33.4 °C. The predominant vegetation is tropical dry forest (or tropical deciduous forest), with temperate forests in the highlands. The poor quality of the soils makes them unsuitable

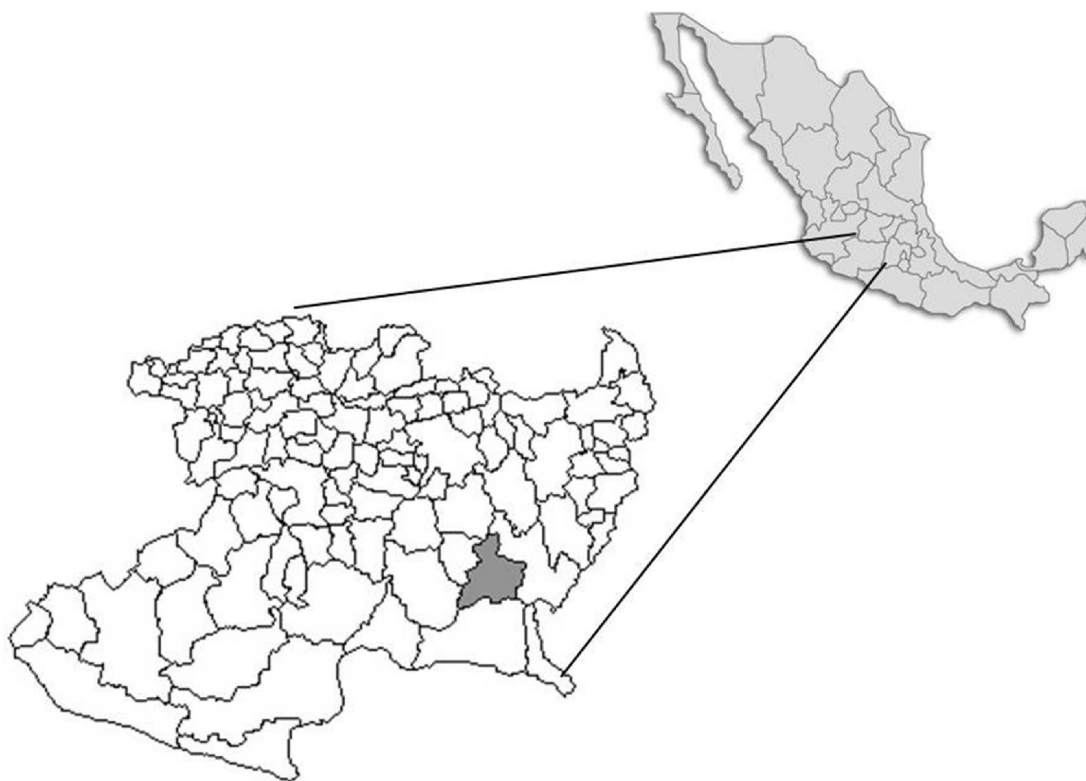


FIGURA 1. Ubicación del municipio de Carácuaro en Michoacán, México.

FIGURE 1. Location of the municipality of Carácuaro in Michoacán, Mexico.

habitantes (INEGI, 2005). Su clima es tropical con lluvias en verano y una temporada seca de más de seis meses. La precipitación pluvial anual de 749.3 mm, con temperaturas de 19.7 a 33.4 °C. La vegetación predominante es del tipo bosque tropical seco (o selva baja caducifolia), con presencia de bosque templado en las zonas altas. La baja calidad de los suelos hace que sean poco aptos para la agricultura; la principal actividad económica es la ganadería extensiva (Sánchez-Díaz & Pérez-Escutia, 1994).

Análisis de las imágenes SPOT

Se utilizaron cuatro imágenes SPOT en el formato 2A de Spotimage, obtenidas para la realización de este trabajo en el marco del convenio ERMEXS-UMSNH 2012: dos multibanda (10m), que se utilizaron para la construcción de las imágenes, y dos panchromáticas (2.5m), para su validación. Corresponde al final la época de secas (27 de febrero de 2004 y 24 de marzo 2012), por lo que la vegetación de hoja caduca está completamente seca. Las imágenes multibanda se calibraron, se corrigieron atmosféricamente y se hicieron coincidir pixel a pixel con 300 puntos de control. Con el vector del límite municipal oficial de Carácuaro se construyó la máscara de la zona de estudio. Todos los análisis se realizaron con el programa ENVI (*Environment for Visualizing Images*, de Exelis Visual Informaton Solutions).

Se realizó una clasificación no supervisada de cada imagen. Las clasificaciones no-supervisadas consisten en identificar grupos de píxeles espectralmente homogéneos al interior de los datos multibanda. Tiene la ventaja de no necesitar conocimiento *a priori* de la zona de estudio y minimizar el error humano; sin embargo, presentan la dificultad de que las clases identificadas deben asignarse *a posteriori* a las categorías buscadas (Campbell, 2002). Generalmente se considera un número de clases mayor que el número de categorías buscadas, y se establece un criterio de asignación. En el contexto de un estudio multitemporal, el criterio elegido debe asegurar la correspondencia espacial de cada categoría entre las diferentes fechas. La agrupación de píxeles similares en una clase equivale a una detección de objetos, mismos que en la zona de estudio corresponden a las parcelas o los parches de vegetación. La construcción del mapa de cobertura corresponde a la reunión de parcelas similares en tipos básicos de vegetación. De esta forma, al comparar los mapas de dos fechas se estará analizando el cambio o la permanencia en una categoría de cada parcela, lo cual supone un enfoque diferente al de comparar directamente los valores de cada pixel entre las dos fechas (Desclée, Bogaert, y Defourny, 2006).

En el presente estudio se realizaron clasificaciones no supervisadas con el algoritmo *k-means* de ENVI (Tou & González, 1974), considerando 20 clases y tres categorías o tipos de cobertura, correspondientes a vegetación de hoja perenne (VHP), vegetación de hoja caduca (corresponde al bosque tropical seco) (VHC) y suelo desnudo (S). El índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) (Chen, 1996;

for agriculture; the main economic activity is cattle ranching (Sánchez-Díaz & Pérez-Escutia, 1994).

Analysis of SPOT images

Four SPOT images in 2A Spotimage format, obtained for conducting this work under the ERMEXS-UMSNH 2012 agreement, were used: two multiband (10m) images, which were used to construct the maps, and two panchromatic (2.5m) ones, for their validation. The images correspond to the end of the dry season (February 27, 2004 and March 24, 2012), so the deciduous vegetation is completely dry. The multi-band images were calibrated, atmospherically corrected and matched pixel to pixel with 300 control points. With Carácuaro's official municipal boundary vector, a mask of the study zone was constructed. All analyses were performed using Exelis Visual Information Solutions' ENVI (*Environment for Visualizing Images*) software.

An unsupervised classification of each image was performed. An unsupervised classification consists of spectrally identifying homogeneous groups of pixels within the multiband data. It has the advantage of not needing *a priori* knowledge of the study area and it also minimizes human error; its main drawback, on the other hand, is that the identified classes have to be assigned *a posteriori* to the categories sought (Campbell, 2002). Generally, a higher number of classes than the number of categories is considered, and an allocation criterion is established. In the context of a multi-temporal study, the criteria selected must ensure the spatial matching of each category between the different dates. The clustering of similar pixels in a class is equivalent to detecting objects, which in the study area correspond to plots or patches with vegetation. Building the cover map involves grouping together plots in similar basic vegetation types. Thus, comparing the two maps, each representing a different date, enables determining whether each plot changes to or stays in a particular category, which implies a different approach than that of directly comparing the values of each pixel between the two dates (Desclée, Bogaert, and Defourny, 2006).

In this study, unsupervised classifications were performed with the ENVI *k-means* algorithm (Tou & González, 1974), considering 20 classes and three categories or types of cover: evergreen vegetation (EV), deciduous vegetation (corresponding to tropical dry forest) (DV) and bare soil (S). The average NDVI (Chen, 1996; Running, Peterson, Spanner, & Teuber, 1986) of each class was taken as the criterion for assigning it to one of the cover types. For this, classes were ordered by decreasing NDVI : classes with higher NDVI were assigned to EV, those with lower NDVI were assigned to S and those with intermediate NDVI to DV. To determine which was the last class of the list corresponding to EV and the first corresponding to DV, a visual check was made on panchromatic images, and the same process was followed for establishing the last class corresponding to DV and the first

Running, Peterson, Spanner, & Teuber, 1986) promedio de la clase, se tomó como criterio de asignación de ésta a uno de los tipos de cobertura. Para esto, las clases se ordenaron por valor creciente de NDVI; las clases con menor NDVI se asignaron a S y las de mayor NDVI a VHP; para establecer en cada caso las clases en las que se cambia de VHP a VHC o de VHC a S, se realizaron verificaciones en las imágenes pancromáticas. Las clasificaciones se validaron con regiones de interés (2000 píxeles/tipo/fecha) tomadas en las mismas imágenes, pero con referencia a las imágenes pancromáticas de las mismas fechas.

Se obtuvo el NDVI promedio de todos los píxeles de cada tipo de cobertura en cada fecha y se analizó estadísticamente si había cambios significativos en cada clase, entre las dos fechas, por medio de una prueba t de Student pareada, utilizando el lenguaje de programación R (*software libre*). Se calculó la superficie ocupada por cada tipo de cobertura en cada fecha y la matriz de cambios entre las dos fechas. Por último, se construyó y analizó el mapa de cambios, comparando uno a uno los píxeles de los dos mapas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 aparecen ordenados de mayor a menor los NDVI de cada clase para cada fecha. El rango general del NDVI es de 0.22 a 0.65. Las clases se agruparon en tres tipos de cobertura: VHP, VHC y S. La cobertura VHP, en ambas fechas corresponde a tres clases; en 2004 este tipo de vegetación presenta un NDVI en el rango de 0.64 a 0.47, mientras que en 2012 va de 0.64 a 0.40. La VHC en las fechas de las imágenes se encuentra muy seca, por lo que los NDVIs son muy bajos: en 2004 el rango es de 0.43 a 0.31, con 12 clases, y en 2012 los valores son más homogéneos, de 0.37 a 0.33, con 10 clases. En cuanto al S, en ambos casos corresponde a NDVIs por debajo de 0.3, como se considera comúnmente en la literatura (Jones y Vaughan, 2010), con cinco clases en 2004 y siete en 2012.

La Figura 3 muestra los NDVIs de los tipos de cobertura resultantes, una vez agrupadas las clases. No hay ningún cambio significativo entre 2004 y 2012 para las coberturas VHC y S, lo que comprueba la inter-calibración de las imágenes de ambas fechas, tras el pre-procesamiento. Se observa una disminución significativa ($P < 0.05$) del NDVI de la VHP entre las dos fechas, lo que se puede explicar por una pérdida de densidad de vegetación, que puede deberse a la tala de árboles; sin embargo, no se trata de un cambio de uso de suelo.

La Figura 4 muestra los mapas de cobertura de cada fecha. La VHP se localiza principalmente al norte y al este del municipio, lo que se explica por el tipo de suelo y la mayor altitud; también es importante destacar la presencia de arboledas a lo largo de caminos o ríos. Los otros tipos de cobertura se reparten por todo el municipio. La exactitud total de los mapas fue superior al 95 % en ambos casos.

corresponding to S. The classifications were validated with regions of interest (2000 pixels/type/date) taken in the same images, but with reference to the panchromatic images of the same dates.

The average NDVI was obtained from all the pixels of each cover type on each date, and it was statistically analyzed if there were significant changes in each class, between the two dates, with a paired Student's *t*-test, using R, a free software programming language. The area occupied by each cover type on each date and the matrix showing the changes between the two dates were calculated. Finally, the map showing the changes was constructed and analyzed, comparing the pixels of the two maps one by one.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 shows the NDVI of each class for each date, ordered from the highest to the lowest. The overall NDVI range is from 0.65 to 0.22. The classes were grouped into three cover types: EV, DV and S. The EV cover, corresponds to three classes; in 2004 this vegetation type presents an NDVI range from 0.64 to 0.47, while in 2012 it goes from 0.64 to 0.40. On the dates of the images, the DV is very dry, so the NDVIs are very low: in 2004 the range is from 0.43 to 0.31, with 12 classes, and in 2012 the values are more homogeneous, ranging from 0.37 to 0.33, with 10 classes. Regarding S, in both cases the NDVIs are below 0.3, as is commonly seen in the literature (Jones and Vaughan, 2010), with five classes in 2004 and seven in 2012.

Figure 3 shows the NDVIs of the resulting cover types, once the classes were grouped. There are no significant changes between 2004 and 2012 for the EV and S covers, which proves the inter-calibration of the images on both dates, after pre-processing. A significant decrease ($P < 0.05$) in the EV NDVI can be observed between the two dates that can be explained by a loss of vegetation density, which may be due to deforestation; however, this is not a change in land use.

Figure 4 shows the area maps of each date. EV is mainly located in the northern and eastern parts of the municipality, which is explained by the type of soil and the higher altitude; it is also important to note the presence of trees along roads or rivers. The other types of covers are distributed throughout the municipality. The accuracy of the maps was over 95 % in both cases.

The change matrix is shown in Table 1. On both dates, the largest area is DV (about 75 % of the area of the municipality) and the least is EV (less than 6 %). Significant changes can be seen among all classes, which together affect 24.75 % of the area of the municipality. The total loss of DV between the beginning and the end of the research period is 5,971.02 ha (8 % of the DV area in 2004). The area of DV that has undergone some type of change is 13,926.59 ha (18.73 % of the DV area in 2004), of which 10,665.31 ha became S.

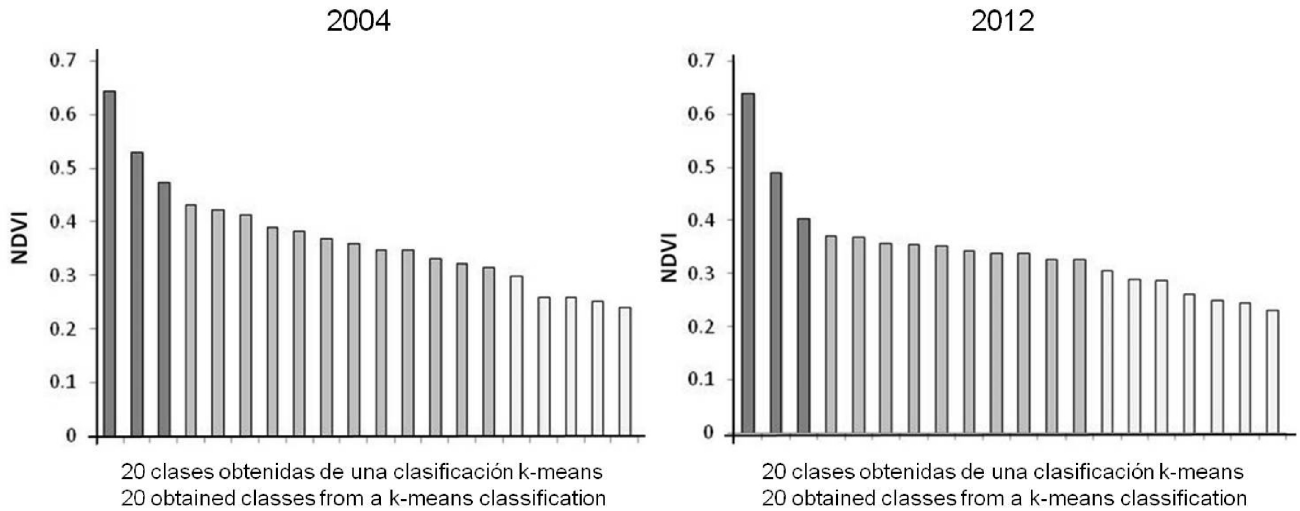


FIGURA 2. NDVI promedio de cada clase obtenida con una clasificación no supervisada de imágenes SPOT del municipio de Carácuaro, Mich. (a) 2004, (b) 2012. Los tonos de gris corresponden a los tipos de cobertura: vegetación de hoja perenne (gris oscuro), vegetación de hoja caduca (gris claro) y suelo sin vegetación (blanco).

FIGURE 2. Average NDVI of each class obtained with an unsupervised classification of SPOT images of the municipality of Carácuaro, Mich. (a) 2004, (b) 2012. Different shades of gray correspond to the cover types: evergreen vegetation (dark gray), deciduous vegetation (light gray) and bare soil (white).

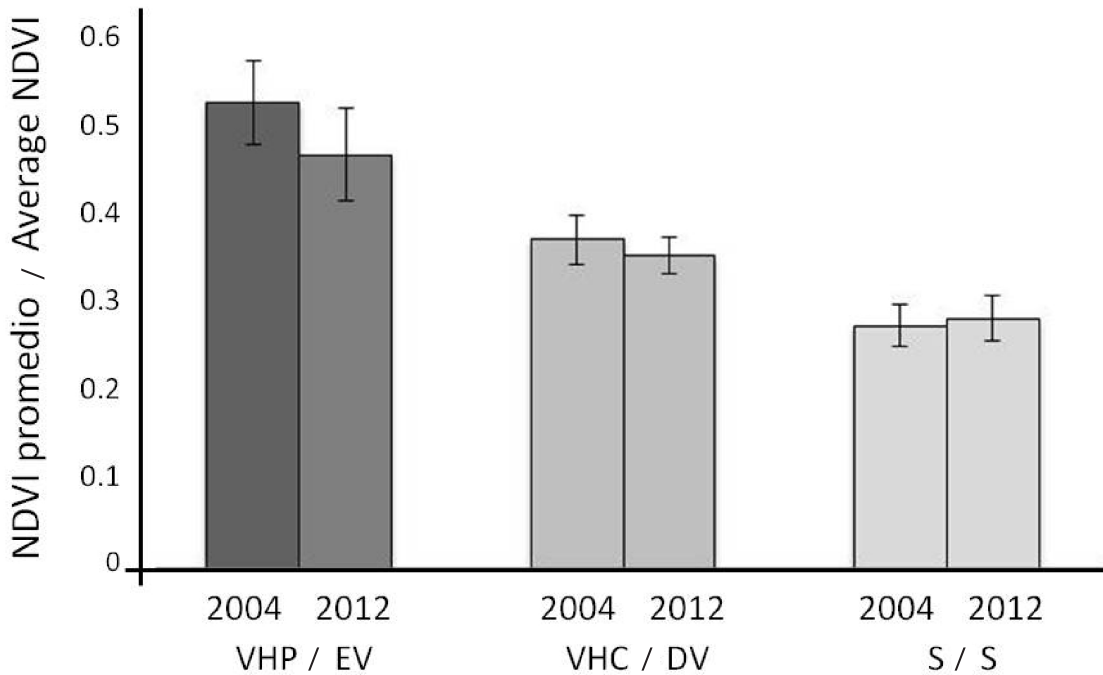


FIGURA 3. NDVI promedio los tipo de cobertura: vegetación de hoja perenne (gris oscuro), vegetación de hoja caduca (gris claro) y suelo (blanco), correspondientes a la unificación de las clases obtenidas con una clasificación no supervisada de imágenes SPOT del municipio de Carácuaro, Mich. La barras de error corresponden a la desviación estándar calculada con los NDVIs de cada pixel.

FIGURE 3. Average NDVI of the cover types: evergreen vegetation (dark gray), deciduous vegetation (light gray) and soil (white), corresponding to the unification of the classes obtained with an unsupervised classification of SPOT images of the municipality of Carácuaro, Mich. The error bars represent the standard deviation calculated with the NDVIs of each pixel.

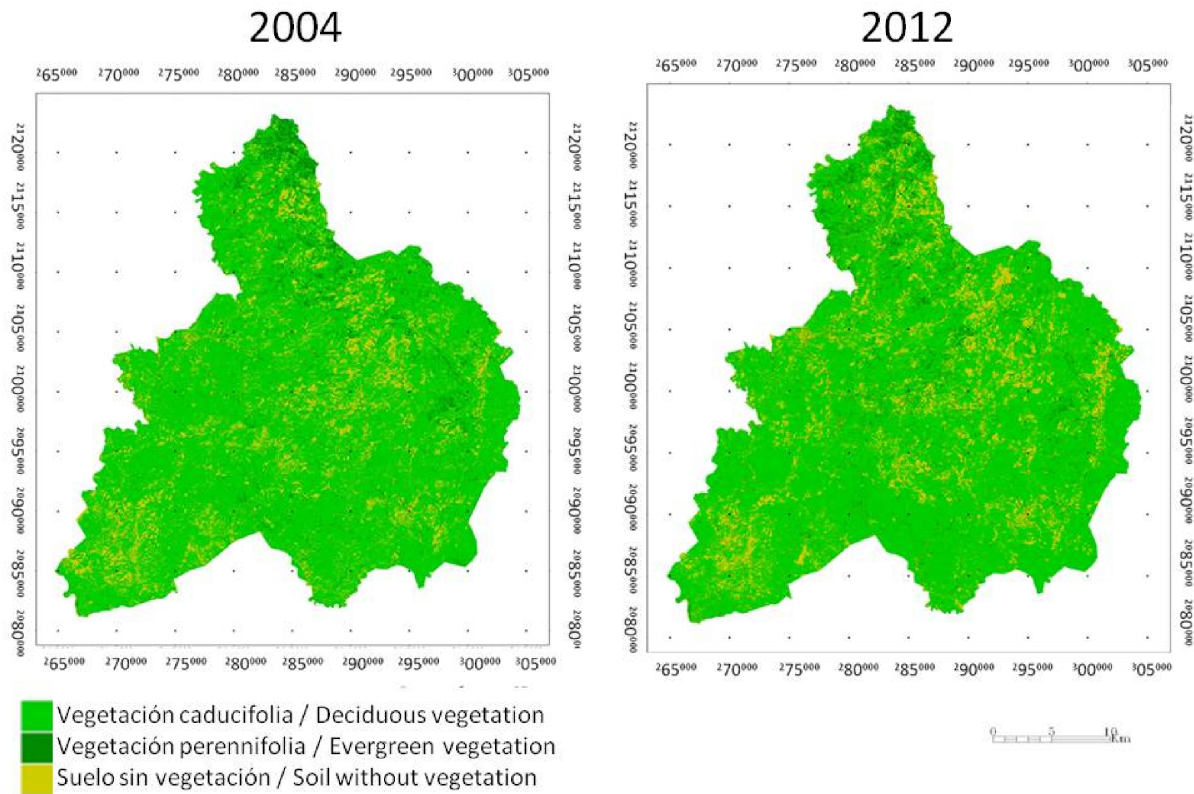


FIGURA 4. Mapas de cobertura del municipio de Carácuaru, Mich. para 2004 y 2012. Generados con datos provenientes de ERMEXS-UMSNH, 2012.

FIGURE 4. Cover maps of the municipality of Carácuaru, Mich. for 2004 and 2012, generated with data from ERMEXS-UMSNH, 2012.

La matriz de cambios aparece en el Cuadro 1. En ambas fechas, la cobertura mayoritaria es VHC (alrededor el 75 % de la superficie del municipio) y la minoritaria es VHP (menos del 6 %). Se observan cambios importantes entre todas las clases, que en total afectan al 24.75 % de la superficie del municipio. La pérdida neta de VHC entre el inicio y el final del periodo estudiado es de 5,971.02 ha (8 % de la superficie de VHC en 2004). La superficie de VHC que ha sufrido algún tipo de cambio es de 13,926.59 ha (el 18.73 % de la superficie de VHC en 2004), de las cuales 10,665.31 ha pasaron a ser S. Inversamente, 5,290.52 ha de S pasaron a ser VHC, por abandono de las parcelas después de algunos ciclos de cultivo, lo que indicaría una recuperación equivalente al 50 %. Por otra parte, la superficie de VHP presenta un pequeño incremento neto de 317.47 ha; sin embargo, el porcentaje de superficie afectada por algún tipo de cambio (el 62.73 %), junto una disminución del NDVI de este tipo de cobertura entre las dos fechas estudiadas, que se podría deber al crecimiento de especies arbustivas o herbáceas en sustitución de las arbóreas, indica una importante alteración de las zonas boscosas.

La Figura 5 muestra el mapa de cambios, cobertura a cobertura. Destaca (en cian) el cambio de VHC a S (parcelas nuevas) por todo el municipio, así como de S a VHC (en azul oscuro) (parcelas abandonadas). Las pérdidas de VHP

Inversely, 5,290.52 ha of S became DV because the plots were abandoned after a few crop cycles, which indicates a recovery equivalent to 50 %. Moreover, the EV area presents a small net increase of 317.47 ha; however, the percentage of EV area affected by some type of change (62.73 %), and the decrease in NDVI of this type of cover between the two dates studied, which could denote the presence of shrubs and herbaceous species replacing trees, indicate a significant alteration of forested areas.

Figure 5 presents the map showing the changes, cover to cover, highlighted by the change from DV to S (in cyan) (new plots) throughout the municipality, as well as from S to DV (in dark blue) (abandoned plots). EV losses (red and pink) logically occur in the areas where this type of vegetation was found: in the northern and eastern sections of the study area, in the highest parts of the municipality. The increase in EV (yellow) is observed in the north of the municipality, probably because of the type of soil and the relief of the zone. EV found along roads and rivers appear in the image as irregular pixel lines. It is possible that, despite the overlapping image process with control points, these lines keep a small displacement between the two dates, leading to a miscalculation of the change in this cover, although it corresponds to a very small percentage of the total study area. The regular practice of opening up and burning TDF zones

CUADRO 1. Matriz de cambios de cobertura en el municipio de Carácuaro, Michoacán, entre 2004 y 2012.
TABLE 1. Matrix of cover changes in the municipality of Carácuaro, Michoacán, between 2004 and 2012.

2004	VHP / EV		VHC / DV		S		Total clase / Total class	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
VHP / EV	1,936.03	37.27	3,261.26	4.39	315.02	2.51	5,512.31	100
VHC / DV	2,665.05	51.30	60,417.21	81.27	5,290.52	42.10	68,372.78	100
S	593.76	11.43	10,665.31	14.35	6,960.94	55.39	18,220.01	100
Total clase / Total class	5,194.84	100	74,343.8	100	12,566.48	100		
Cambios / Changes	3,258.81	62.73	13,926.59	18.73	5,605.54	44.60		
Diferencia / Difference	317.47	6.11	-5,971.02	-8.03	5,653.53	44.99		

(rojo y fucsia) se dan lógicamente en las zonas donde se encontraba este tipo de vegetación: al norte y al este de la zona de estudio, en las partes más altas del municipio. Las ganancias de VHP (amarillo) se observan al norte del municipio, probablemente por el tipo de suelo y el relieve de esta zona. La VHP que se encuentra en caminos o ríos, aparece en la imagen como líneas irregulares de píxeles. Es posible que, a pesar del proceso de superposición de las imágenes con puntos de control, estas líneas conserven un pequeño des-

for grazing or rain-fed agriculture (see evidence in Figure 6, as an example) largely explains the general cover change that is observed in the results. While it is true that there is a rotation between S and DV that allows some recovery, it is logical to think that there has to be a deterioration of the ecosystems, as a result of the loss of some species and the invasion of other species which establish themselves and spread more easily, as well as the damage associated with landscape fragmentation.

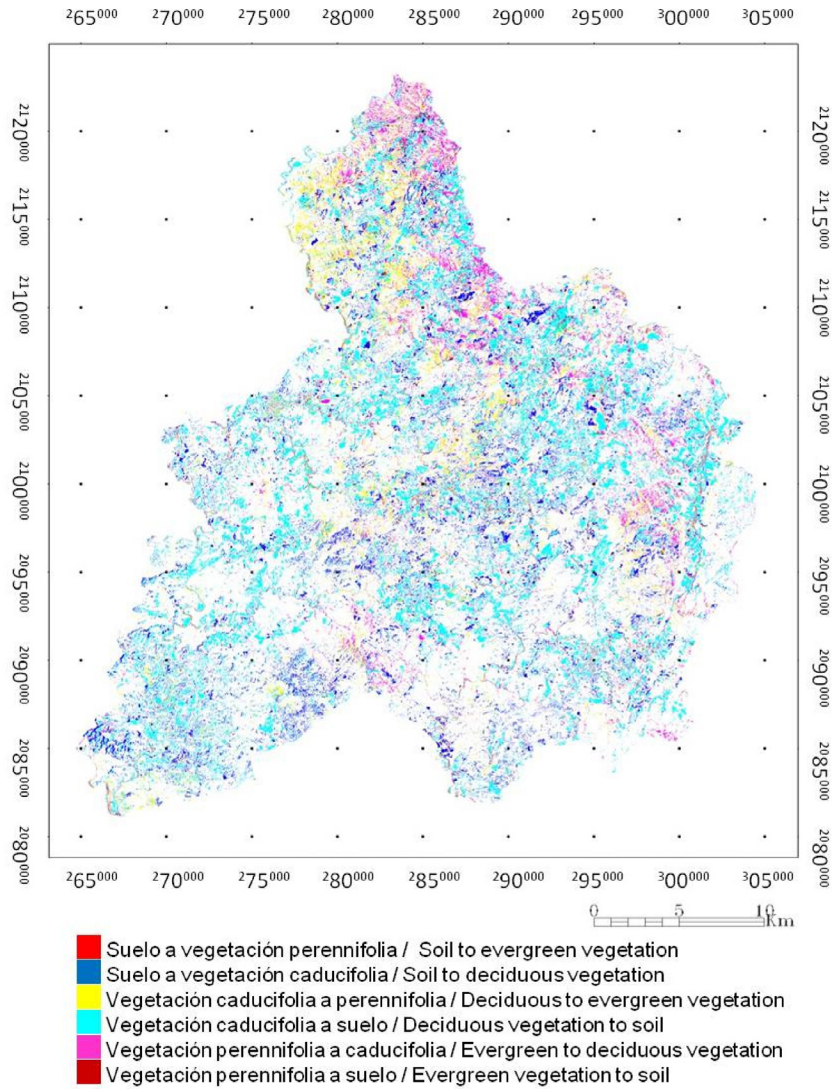


FIGURA 5. Mapa de cambios de cobertura tipo a tipo en el municipio de Carácuaro, Mich. entre 2004 y 2012. Generado con datos provenientes de ERMEXS-UMSNH 2012.

FIGURE 5. Map showing changes in cover types in the municipality of Carácuaro, Mich. between 2004 and 2012, generated with data from ERMEXS-UMSNH 2012.

plazamiento entre las dos fechas, que dé lugar a un cálculo erróneo de cambio de esta cobertura, si bien corresponde a un porcentaje muy pequeño del total de la zona de estudio.

La práctica habitual de apertura y quema de zonas de BTS para dedicarlas al pastoreo o a la agricultura de temporal (ver evidencia en la Figura 6, como ejemplo), explica en gran medida el cambio generalizado de cobertura que se observa en los resultados. Si bien es cierto que hay una rotación entre S y VHC que permite cierta recuperación, es lógico pensar

CONCLUSIONS

This study analyzes the cover changes in Carácuaro, Mich., in the 2004 to 2012 period, based on the comparison of two separate maps of three types of cover: evergreen vegetation, deciduous vegetation (tropical dry forest) and bare soil. The maps were constructed with SPOT satellite images, using a method based on unsupervised classification and calculation of NDVIs, which guarantees that the maps are objective and can be compared to one another. A significant exchange

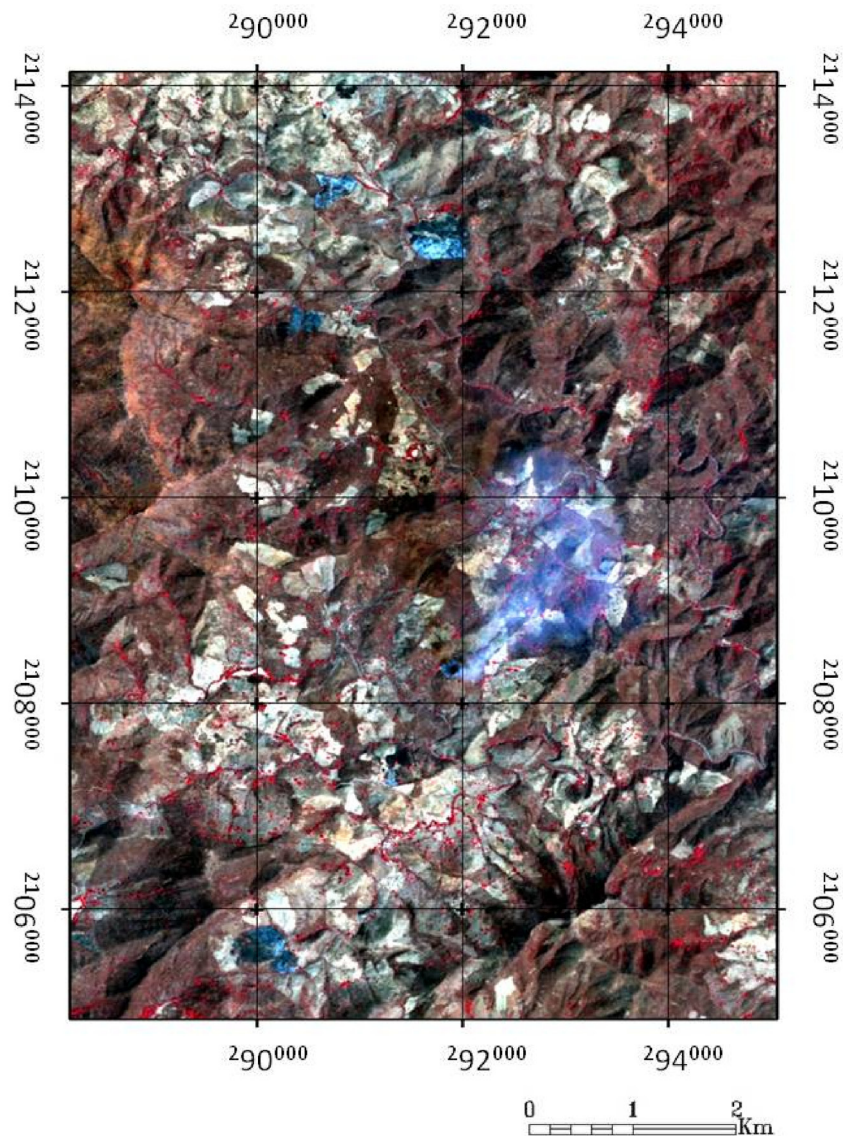


FIGURA 6. Evidencia de una quema en el municipio de Carácuaro, Mich. en 2012. Se observa la nube de humo (en blanco) y las parcelas quemadas (en azul brillante), que tienen una superficie aproximada de 10 ha. © CNES_2012, producidas por ERMEXS-UMSNH bajo licencia de Spotimage, S.A.

FIGURE 6. Evidence of a burn in the municipality of Carácuaro, Mich. in 2012. A cloud of smoke (in white) and burnt plots (in bright blue), which cover an approximately 10-h area, can be seen. © CNES_2012, produced by ERMEXS-UMSNH under licence of Spotimage, S.A.

que debe haber un empobrecimiento de los ecosistemas, por la pérdida de algunas especies y la invasión de otras de más fácil propagación y establecimiento, así como una afectación asociada a la fragmentación del paisaje.

CONCLUSIONES

El presente trabajo analiza los cambios de cobertura en el municipio de Carácuaro, Mich., en el periodo 2004 a 2012, a partir de la comparación de sendos mapas de tres tipos de cobertura: vegetación de hoja perenne, de hoja caduca (boque tropical seco) y suelo desnudo. Los mapas fueron contruidos con imágenes satelitales SPOT, según un método basado en una clasificación no supervisada y el cálculo de NDVIs, que garantiza que sean objetivos y comparables entre sí. Se evidenció un importante intercambio entre los tres tipos de cobertura, generalizado en todo el municipio, que afecta al 24.75 % de la superficie. Entre el inicio y el final del periodo estudiado, cerca del 19 % del bosque tropical seco sufrió algún tipo de cambio. La pérdida neta fue de casi 6,000 ha. Se observó una recuperación equivalente al 50 % de la superficie de bosque tropical seco que pasó a suelo. La perturbación constante que sufre la cobertura vegetal bajo estas circunstancias tiene repercusiones ecológicas importantes, como la fragmentación del paisaje y la pérdida de biodiversidad. Esta situación es provocada por la utilización generalizada de la práctica *tumba-quema-abandono*, común en zonas donde la economía está basada en la ganadería extensiva y la agricultura de temporal.

AGRADECIMIENTOS

A la Academia Mexicana de Ciencias por las becas del XXII Verano de la Investigación Científica otorgadas a Leni Peralta y Luis Mota. A la SEMAR, por la imágenes SPOT, concedidas en el marco del convenio ERMEXS-UMSNH 2012.

BIBLIOGRAFÍA

- Bocco, G.; Mendoza, M.; Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso de suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 44, 18-38. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/569/56904403.pdf>
- Caetano, S.; Prado, D.; Pennington, R. T.; Beck, S.; Oliveira-Filho, A.; Spichiger, R.; Naciri, Y. (2008). The history of seasonally dry tropical forests in eastern South America: inferences from the genetic structure of the tree *Astronium urundeuva* (Anacardiaceae). *Molecular Ecology*, 17, 3147-3159. doi: 10.1111/j.1365-294X.2008.03817.x
- Campbell, J. B. (2002). *Introduction to Remote Sensing*. New York, USA: The Guilford Press.
- Chen, J. M. (1996). Evaluation of vegetation indices and a modified simple ration for Boreal applications. *Can. J. Remote Sensing*, 22, 229-241. Obtenido de http://ftp2.cits.nrcan.gc.ca/pub/geott/ess_pubs/218/218303/1526.pdf

between the three cover types occurred throughout the municipality, affecting 24.75 % of the area. Between the beginning and the end of the study period, almost 19 % of the tropical dry forest experienced some type of change. The net loss was nearly 6,000 ha. A recovery equivalent to 50 % of the tropical dry forest area that had previously turned into soil was observed. The constant disturbance that the vegetation cover suffers under these circumstances has important ecological implications, such as landscape fragmentation and loss of biodiversity. This situation is caused by the widespread use of the *slash-burn-abandon* practice, common in areas where the economy is based on ranching and rain-fed agriculture.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank Academia Mexicana de Ciencias for the Summer XXII Scientific Research scholarships awarded to Leni Peralta and Luis Mota, and SEMAR for the SPOT images granted under the ERMEXS-UMSNH 2012 agreement.

End of English Version

- Desclée, B.; Bogaert, P.; Defourny, P. (2006). Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sensing of Environment*, 102, 1-11. doi: 0-7803-8742-2/04
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). II Censo de Población y Vivienda. Consultado el 10-02-2013 en <http://www.inegi.org.mx/Sistemas>
- Jones, H. G.; Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation. Principles, techniques, and applications*. New York, USA: Oxford University Press, Inc.
- Kalacska, M.; Sánchez-Azofeifa, G. A.; Calvo-Alvarado, J. C.; Quesada, M.; Rivard, B.; Janzen, D. H. (2004). Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 200, 227-247. doi: 10.1016/j.foreco.2004.07.001
- Maass, M.; Balvanera, P.; Castillo, A.; Daily, G. C.; Mooney, H. A.; Ehrlich, P.; Quesada, M.; Miranda, A.; Jaramillo, V. J.; García-Oliva, F.; Martínez-Yrizar, A.; Cotler, H.; López-Blanco, J.; Pérez-Jiménez, A.; Búrquez, A.; Tinoco, C.; Ceballos, G.; Barraza, L.; Ayala, R.; Sarukhán, J. (2005). Ecosystem Services of Tropical Dry Forests: Insights from Long-term Ecological and Social Research on the Pacific Coast of Mexico. *Ecology and Society*, 10(1), 17. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art17/>
- Miles, L.; Newton, A. C.; DeFries, R. S.; Ravilious, C.; May, I.; Blyth, S.; Kapos, V.; Gordon, J. E. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3), 491-505. doi:10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x
- Pringle, E. G.; Adams, R. I.; Broadbent, E.; Busby, P. E.; Donatti, C. I.; Kurten, E. L.; Renton, K.; Dirzo, R. (2011). Distinct leaf-trait syndromes of evergreen and deciduous trees in a

- seasonally dry tropical forest. *Biotropica*, 43(3), 299-308. doi: 10.1111/j.1744-7429.2010.00697.x
- Quesada, M.; Stoner, K. E. (2004). Threats to the conservation of tropical dry forest in Costa Rica. In G. W. Frankie, A. Mata, & S. B. Vinson (Eds.), *Biodiversity conservation in Costa Rica. Learning the lessons in a seasonal dry forest*. Los Angeles, California, USA: University of California Press.
- Quesada, M.; Sánchez-Azofeifa, G. A.; Álvarez-Añorve, M.; Stoner, K. E.; Ávila-Cabadilla, L.; Calvo-Alvarado, J.; Castillo, A.; Espirito-Santo, M. M.; Fagundes, M.; Fernandes, G. W.; Gamon, J.; Lopezaraiza-Mikel, M.; Lawrence, D.; Cerdeira Morellato, L. P.; Powers, J. S.; Neves, F. de S.; Rosas-Guerrero, V.; Sayago, R.; Sánchez-Montoya, G. (2009). Succession and management of tropical dry forest in the Americas: Review and new perspectives. *Forest Ecology and Management*, 258, 1014-1024. doi:10.1016/j.foreco.2009.06.023
- Running, S. W.; Peterson, D. L.; Spanner, M. A.; Teuber, K. B. (1986). Remote sensing of coniferous forest leaf area. *Ecology*, 67, 273-276. Obtenido en <http://andrewsforest.oregonstate.edu/pubs/pdf/pub881.pdf>
- Sánchez-Azofeifa, A.; Quesada, M.; Rodríguez, J. P.; Nassar, J. M.; Stoner, K. E.; Castillo, A.; Garvin, T.; Zent, E. L.; Calvo-Alvarado, J. C.; Kalacska, M. E. R.; Fajardo, L.; Gamon, J. A.; Cuevas-Reyes, P. (2005). Research Priorities for Neotropical Dry Forests. *Biotropica*, 37(4), 477-485. doi: 10.1111/j.1744-7429.2005.00066.x
- Sánchez-Díaz, G.; Pérez-Escutia, R. A. (1994). Carácuaro de Morelos, historia de un pueblo de la Tierra Caliente. UMSNH, Morelia, Mich. México.
- Tou, J. T.; González, R. C. (1974). *Pattern Recognition Principles*. Reading, Massachusetts, USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Werneck, F. P.; Costa, G. C.; Colli, G. R.; Prado, D. E.; Sites, J. W. Jr. (2011). Revisiting the historical distribution of Seasonally Dry Tropical Forests: new insights based on palaeodistribution modelling and palynological evidence. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 272-288. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00596