

# Land-use change in the Sierra Alta of Hidalgo in the period 1976-2011

José Lorenzo Guillermo<sup>1</sup>

Jorge Duch Gary<sup>2</sup>

Elba Pérez Villalba<sup>2</sup>

Alejandro I. Monterroso Rivas<sup>3</sup>

## Abstract

In the last 50 years, land-use change in the Sierra Alta de Hidalgo region has intensified mainly due to agricultural activities that lead to the continual opening of spaces previously covered with natural vegetation, causing the degradation of natural resources. The study objective was to characterize the dynamics of land-use change in the Sierra Alta of Hidalgo, in the period 1976-2011, in order to contribute to rural development planning processes. INEGI vegetation and land-use charts, with a scale of 1: 250,000, were used for the years 1976, 1993 and 2011. Statistical analysis was carried out with the aid of the Land Change Modeler (LCM) module of the TenSet software. Later, 54 surveys were carried out in three localities of the mentioned region in order to know the factors that favor land-use change. Land-use changes are associated with economic, demographic, socio-cultural and institutional policy factors, and evidenced by the increase in agricultural activities: more than 19 thousand hectares of Cultivated Grassland and approximately 12 thousand hectares of Rainfed Agriculture, against the loss of 9 thousand hectares of forests and rainforests.

**Keywords:** Land use, change dynamics, multitemporal analysis, rural development, region.

## Cambio de uso de suelo en la Sierra Alta Hidalguense en el periodo 1976-2011

## Resumen

En los últimos 50 años, el cambio de uso de suelo en la región de la Sierra Alta de Hidalgo se ha intensificado debido principalmente a las actividades agropecuarias que propician se sigan abriendo espacios anteriormente cubiertos con vegetación natural, provocando la degradación de los recursos naturales. Objetivo de estudio: caracterizar la dinámica del cambio de uso de suelo de la Sierra Alta del estado de Hidalgo, en el periodo 1976-2011, con el fin de contribuir a los procesos de planeación del desarrollo rural. Se usaron cartas de uso de suelo y vegetación del INEGI, con una escala 1: 250,000 de los años 1976, 1993 y 2011. Se realizó el análisis estadístico con ayuda del módulo Land Change Modeler (LCM) del software TenSet, posteriormente se realizaron 54 encuestas en tres localidades de la citada región para conocer los factores que favorecen el cambio de uso de suelo. Los cambios de uso de suelo están asociados a factores económicos, demográficos, socioculturales y políticas institucionales; evidenciado por el incremento de actividades agropecuarias: más de 19 mil ha de Pastizal Cultivado y aproximadamente 12 mil ha de Agricultura de Temporal y la pérdida de 9 mil ha de bosques y selvas.

**Palabras clave:** Uso de suelo, dinámica de cambio, análisis multitemporal, desarrollo rural, región.

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Maestría en Desarrollo Rural, Centros Regionales, carretera México-Texcoco, km 38.5 Chapingo, Texcoco Edo. de México, C. P. 56230.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Dirección de Centros Regionales, carretera México-Texcoco, km 38.5 Chapingo, Texcoco Edo. de México, C. P. 56230.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, carretera México-Texcoco, km 38.5 Chapingo, Texcoco Edo. de México, C. P. 56230.

\*Corresponding author: joselzog@gmail.com telephone number 771 2191751

Received: August 31, 2018

Accepted: June 13, 2019

## Introduction

From the beginning, humanity has maintained a close relationship with nature. In order to satisfy their basic needs throughout history, human beings have obtained an infinite number of goods and services such as food, fuel, medicines, etc., however, despite the cultural, social, economic and ecological value of nature, in recent years, under a vision of capitalization, natural ecosystems have been transformed into livestock-agricultural lands and urban areas; in addition, the waters of rivers and lakes have been polluted, causing environmental degradation (Semarnat, 2013).

Studies of land-use dynamics are indicators that help determine the use and management that man makes of nature in a given territory. In recent years, countries have recognized the importance of conducting such studies to analyze, understand and make decisions in the formulation of planning policies (Dale, 1997). It is for this reason that, in the development of land-use planning, it is important to know previous studies that help to implement strategies and actions directed to a rational use of the natural resources and thus diminish the problems of deterioration.

This study arose due to the fact that the natural vegetation of the Sierra Alta of Hidalgo is very fragile, and is being displaced by agricultural activities, causing degradation and reduction of goods and services that the ecosystem provides, which are indispensable resources for the basic activities of the population; however, in the region, there are no referents available in relation to quantitative and updated information that reflects the temporal transformations of the vegetation cover, its spatial distribution and land uses. In this sense, the characterization of vegetation cover, land use and spatial-temporal changes are key to understanding and predicting the dynamics of ecosystems, as well as for designing the best conservation and sustainable management policies and strategies for the region.

In this context, the dynamics of land-use change was characterized in the Sierra Alta of Hidalgo during the period from 1976 to 2011, and the reasons why land-use changes have occurred in three localities of the region were identified.

## Introducción

Desde sus orígenes la humanidad ha mantenido estrecha relación con la naturaleza. Para satisfacer sus necesidades básicas a lo largo de la historia, el ser humano ha obtenido infinidad de bienes y servicios como alimentos, combustibles, medicamentos etc., sin embargo, a pesar del valor cultural, social, económico y ecológico que tiene la naturaleza, en los últimos años, bajo una visión de capitalización, los ecosistemas naturales han sido transformados en tierras ganaderas, agrícolas y zonas urbanas; además, se han contaminado las aguas de ríos y lagos provocando una degradación ambiental (Semarnat, 2013).

Los estudios de la dinámica de uso de suelo son indicadores que contribuyen a conocer el aprovechamiento y manejo que el hombre hace de la naturaleza en un determinado territorio. En años recientes, los países han reconocido la importancia de realizar dichos estudios para analizar, entender y tomar decisiones en la formulación de políticas de planeación (Dale, 1997). Es por ello, que, en la elaboración de ordenamientos territoriales es importante conocer estudios previos que ayuden a instrumentar estrategias y acciones encaminadas a un aprovechamiento racional de los recursos naturales y con ello, disminuir los problemas del deterioro.

La realización de este trabajo surgió debido a que la vegetación natural de la Sierra Alta del estado de Hidalgo es muy frágil, y está siendo desplazada por las actividades agropecuarias, ocasionando la degradación y disminución de los bienes y servicios que el ecosistema provee, ya que son recursos indispensables para las actividades básicas de la población; sin embargo, en la región, no hay referentes disponibles en relación con información cuantitativa y actualizada que refleje las transformaciones temporales de la cobertura vegetal, la distribución espacial de esta y los usos del suelo. En este sentido, la caracterización de la cobertura vegetal, el uso de suelo y sus cambios espacio-temporales son fundamentales para entender y predecir la dinámica de los ecosistemas, así como para diseñar las mejores políticas y estrategias de conservación y manejo sostenible de la región.

Sepúlveda, Rodríguez, Echeverri and Portilla (2003) point out that the supply of natural resources has been the foundation of the development of productive activities, from which the process of land grabbing has taken place. This process highlights the role of agricultural activities in transforming the landscape and rural spaces. However, what originally had the natural resource base as its focal point induces, over time, the formation of other economic activities not directly related to agriculture; thus, a rural economy emerges extending beyond the agricultural-livestock economy.

In this sense, Sepúlveda et al. (2003) point out that the territorial approach makes it possible to rescue the role of natural resources as a central element in rural development strategies, because the subsistence of the rural population depends on a wide range of goods associated with natural resources (soil, water, forest products, fauna), and that the same population suffers when environmental conditions deteriorate or access to such resources is restricted, especially when, through processes of economic and social exclusion, the population is pushed into marginal, degraded and low-productivity lands that are very often susceptible to the effects of natural disasters.

Given the relationship between rural development and availability of natural resources, it is extremely important to know the situation of these resources in a given region; Palacio et al. (2000) mention that one of the most important indicators of development balanced with the conservation of natural resources is the measurement of change in vegetation cover and land use; the results offer a graphical view of changes in the territory, which have environmental and socioeconomic repercussions.

With respect to the above, Sepúlveda et al. (2003) point out that developing a territorial approach highlights the need to: a) recognize that in rural territories there is an urban dimension that cannot be ignored; b) admit that as societies progress, the rural dimension ceases to be synonymous with the agricultural one; c) highlight the different functions of natural resource systems (economic, social, cultural) and the impact that social and economic systems have on natural systems; d) recognize the relevance

Bajo este contexto, se caracterizó la dinámica del cambio de uso de suelo de la Sierra Alta del estado de Hidalgo durante un periodo que va del año 1976 al año 2011, y se identificaron las razones por las que han ocurrido los cambios de uso de suelo en tres localidades de la citada región.

Sepúlveda, Rodríguez, Echeverri y Portilla (2003), señalan que la dotación de los recursos naturales ha sido el fundamento del desarrollo de las actividades productivas, a partir de las cuales se ha dado el proceso de apropiación poblacional del territorio. En este proceso destaca el papel de las actividades agropecuarias como actividades transformadoras del paisaje y los espacios rurales. Sin embargo, lo que originariamente tuvo como punto focal la base de recursos naturales, induce con el tiempo, la conformación de otras actividades económicas no relacionadas directamente con la agricultura; surge, así, una economía rural que trasciende la economía agrícola-pecuaria.

En ese sentido, Sepúlveda et al. (2003) señalan que el enfoque territorial permite rescatar el papel de los recursos naturales como elemento central en las estrategias del desarrollo rural, ya que la subsistencia de la población rural depende, en gran medida, de una amplia gama de bienes asociados a los recursos naturales (suelo, agua, productos forestales, fauna), y que esa misma población sufre desproporcionadamente cuando se deterioran las condiciones ambientales o se les restringe el acceso a tales recursos, especialmente cuando por procesos de exclusión económica y social, la población es empujada a tierras marginales, degradadas, de baja productividad y muy a menudo susceptibles a los efectos de los desastres naturales.

Dada la relación existente entre el desarrollo rural y la disponibilidad de los recursos naturales, es de suma trascendencia conocer la situación de estos en una determinada región; por ello Palacio et al. (2000) mencionan que uno de los indicadores más importantes de un desarrollo balanceado con la conservación de los recursos naturales es la medición del cambio en la cobertura vegetal y el uso de suelo, cuyos resultados ofrecen una visión gráfica de cambios en el territorio, los cuales tienen repercusiones ambientales y socioeconómicas.

of historical, cultural and institutional factors that contribute to the creation of territorial specificities that manifest in the form of appropriation of natural resources; e) underscore the importance of environmental and natural resource management as an essential element in poverty reduction strategies; and f) address the heterogeneity in terms of the condition of the environment observed in the region.

It is for this reason that studies on the processes of land-cover change and land-use change are in the spotlight of current environmental research.

Most changes in terrestrial ecosystems are due to land-cover change, land degradation and land-use intensification (Lambin, 1997).

These processes, usually included in what is known as deforestation or forest degradation, are associated with important ecological impacts at practically all scales. Locally, they induce soil loss and degradation, changes in the microclimate and loss in species diversity; regionally, they affect the functioning of watersheds and human settlements, and globally, they contribute to greenhouse gas emissions resulting in the problem of climate change (Bocco, Mendoza, & Masera, 2001).

A global meta-analysis of 152 regional case studies conducted by Geist and Lambin (2002) classified deforestation in the tropics into three categories of proximate causes: agricultural expansion, timber extraction, and infrastructure extension; these causes are in turn influenced by underlying forces that are more difficult to assess. These forces normally act in concert with each other on different time and space scales.

No independent variable, such as population growth or migratory agriculture, unilaterally affects forest cover change; synergies and underlying (social) driving forces better explain tropical forest cover losses.

Furthermore, these authors found that 53.3 % of the cases studied are due to economic factors as the main underlying forces of tropical deforestation, followed in descending order by political and institutional factors with 51.3 %, technological factors with 46.1 % and cultural and demographic factors with 43.4 and 40.1 % respectively. Among the proximate causes, 63.2 % of the cases were associated with the

Con respecto a lo antes planteado, Sepúlveda et al. (2003) destacan que al desarrollar un enfoque territorial se pone de manifiesto la necesidad de: a) reconocer que en los territorios rurales existe una dimensión urbana que no se puede ignorar; b) admitir que conforme las sociedades progresan, lo rural deja de ser sinónimo de lo agrícola; c) destacar las diferentes funciones que cumplen los sistemas de recursos naturales (económicas, sociales, culturales) y el impacto que los sistemas sociales y económicos tienen sobre los sistemas naturales; d) reconocer la relevancia de factores históricos, culturales e institucionales que contribuyen a la creación de especificidades territoriales que se manifiestan en la forma de apropiación de los recursos naturales; e) subrayar la importancia del manejo ambiental y de los recursos naturales como elemento esencial en las estrategias de reducción de la pobreza, y f) abordar la heterogeneidad en cuanto a la condición del ambiente que se observa en la región.

Es por ello, que los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y el uso de suelo se encuentran en el centro de la atención de la investigación ambiental actual.

La mayor parte de los cambios ocurridos en ecosistemas terrestres se deben a la conversión de la cobertura del terreno, a la degradación del mismo y a la intensificación en su uso (Lambin, 1997).

Estos procesos, usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas. Localmente inducen la pérdida y degradación de suelos, cambios en el microclima y pérdida en la diversidad de especies; regionalmente afectan el funcionamiento de cuencas hidrográficas y de asentamientos humanos y en el ámbito global, coadyuvan a las emisiones de gases de efecto invernadero que dan por resultado el problema del cambio climático (Bocco, Mendoza, & Masera, 2001).

Un meta-análisis global de 152 casos regionales de estudio que realizaron Geist y Lambin (2002), clasificaron la deforestación en los trópicos en tres categorías de causas próximas: expansión agrícola, extracción de madera y extensión de infraestructura; estas causas están influenciadas, a su vez, por fuerzas subyacentes que son más difíciles de evaluar. Dichas

expansion of agriculture, 47.4 % with the extension of infrastructure, 44.1 % with forest extraction and only 22.4 % were associated with other factors such as environmental factors, biophysical controllers (fires, droughts, floods, etc.) and events involving social disorder.

## Materials and methods

### *Location of the study area*

This study is located in the Sierra Alta region of the state of Hidalgo; it includes part of two physiographic subprovinces: the Carso Huasteco subprovince of the Sierra Madre Oriental province and the Querétaro and Hidalgo plains and sierras subprovince of the Trans-Mexican Volcanic Belt province.

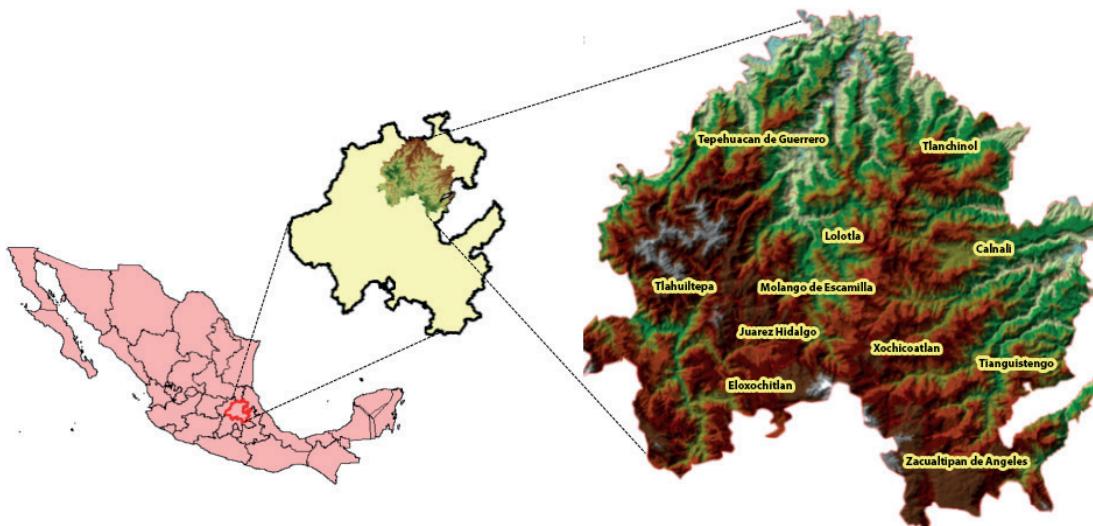
Figure 1 represents the Sierra Alta, located in the northeast region of the state of Hidalgo. The interior of the entity is bordered to the north by the Huasteca Hidalguense region, to the south by the Sierra Baja and Valle del Mezquital and to the west by the Sierra Gorda; it is also bordered by the state of San Luis Potosí to the north and the state of Veracruz to the east.

fuerzas, normalmente actúan conjuntamente entre sí, en escalas temporales y espaciales diferentes.

Ninguna variable de manera independiente, como el crecimiento de la población o la agricultura migratoria, afectan unilateralmente el cambio de la cubierta forestal; las sinergias y las fuerzas impulsoras subyacentes (sociales) explican mejor las pérdidas de la cubierta forestal tropical.

Asimismo, estos autores encontraron que el 53.3 % de los casos estudiados se debe a factores económicos como las principales fuerzas subyacentes de la deforestación tropical, le siguen los factores políticos e institucionales con el 51.3 %; en tercer lugar, se encuentran los factores tecnológicos con un 46.1 % y los factores culturales y demográficos con 43.4 y 40.1 % respectivamente. Dentro de las causas próximas, 63.2 % de los casos se asociaron a la expansión de la agricultura, 47.4 % a la extensión de la infraestructura, 44.1 % a la extracción forestal y solamente el 22.4 % estuvieron asociados a otros factores como los ambientales, controladores biofísicos (incendios, sequías, inundaciones, etc.) y eventos de desorden social.

**Figure 1. Location of the study area.**  
**Figura 1. Localización del área de estudio.**



Source: Compilation based on INEGI (2010).

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2010).

The Sierra Alta has an abrupt topography with high mountains. Rivas (1997) mentions that,

...although it is the same Sierra Madre Oriental, here we know it by different names depending on the region where it is located. The Sierra Alta (*alta* means high) only looks high when we see it from below, but which is of medium height if we measure it with other mountains of Hidalgo.

Continuing with Rivas (1997), he mentions that the Sierra Alta region includes the municipalities of Zacualtipán de Ángeles, Tianguistengo, Xochicoatlán, Calnali, Tlanchinol, Lolotla, Molango de Escamilla, Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Tlahuiltepa and Tepehuacán de Guerrero. However, Lorenzo (2001), for historical reasons, includes two more municipalities in the list, Metztitlán and Metzquititlán, since, above all, during pre-Hispanic and colonial times, the aforementioned municipalities were related to the rest of the municipalities.

The Sierra Alta of Hidalgo covers 290 486.5 ha, equivalent to 14 % of the territorial area of that state. Physiographically, it spreads over the northeastern portion of the state of Hidalgo, covering in its largest area the Carso Huasteco subprovince within the physiographic province of the Sierra Madre Oriental, originated at the end of the Mesozoic and early Cenozoic period (INEGI, 1992).

The soils of this region, in order of abundance, are lithosols, rendzinas and phaeozems; they are of residual origin, shallow and of moderate or incipient development, and generally present lithic phase. The different vegetative associations (cloud forest, oak, pine and oyamel forests, as well as rainforest and grasslands, etc.) provide them with large quantities of organic matter in the form of leaf litter that is transformed into humus in the A horizon, and it is partly because of this circumstance that the soils are mostly dark-colored (INEGI, 1992).

According to the information on Vegetation and Soil Use (Series V) provided by INEGI, cloud forest covers 33 % of the total area of the Sierra Alta in the state of Hidalgo, with more than 95 thousand ha, followed by rainfed agriculture with 21.7 %, natural and induced grasslands that add up to 13 % and, to a lesser extent, the evergreen seasonal forest with

## Materiales y métodos

### Ubicación del área de estudio

La presente investigación se ubica en la región de la Sierra Alta del estado de Hidalgo; comprende parte de dos subprovincias fisiográficas: la subprovincia carso huasteco de la provincia Sierra Madre Oriental y la subprovincia llanuras y sierras de Querétaro e Hidalgo de la provincia Eje Neovolcánico Transversal.

En la Figura 1 se representa la Sierra Alta, localizada al noreste del estado de Hidalgo; al interior de la entidad colinda al norte con la región Huasteca hidalguense, al sur con la Sierra Baja y el Valle del Mezquital y al oeste con la Sierra Gorda; asimismo, limita con los estados de San Luis Potosí al norte y al este con el estado de Veracruz.

La Sierra Alta presenta una topografía abrupta con elevadas montañas. Rivas (1997) menciona que,

...aunque se trata de la misma Sierra Madre Oriental, aquí la conocemos con distintas denominaciones según la región en donde se encuentre. La Sierra Alta, que de alta tiene solo la apariencia cuando la vemos desde abajo, pero que resulta de mediana altura si la medimos con otras montañas de Hidalgo.

Siguiendo con Rivas (1997), menciona que a la región Sierra Alta pertenecen los municipios de Zacualtipán de Ángeles, Tianguistengo, Xochicoatlán, Calnali, Tlanchinol, Lolotla, Molango de Escamilla, Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Tlahuiltepa y Tepehuacán de Guerrero. Sin embargo, Lorenzo (2001) por motivos históricos, incluye dentro de la lista a dos municipios más: Metztitlán y Metzquititlán, ya que, sobre todo, durante las épocas prehispánicas y colonial, los municipios antes citados estuvieron íntimamente relacionados con el resto de los municipios.

La Sierra Alta del estado de Hidalgo ocupa 290 486.5 ha, equivalente al 14 % de la superficie territorial de dicho estado. Fisiográficamente se despliega sobre la porción noreste del estado de Hidalgo, abarcando en su mayor superficie la subprovincia del Carso Huasteco, dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, originada a fines del Mesozoico y principios del Cenozoico (INEGI, 1992).

Los suelos de esta región, por orden de abundancia son: litosoles, rendzinas y feozem;

10.2 %, while pine and oak forests and their respective associations cover 14 % of the area that covers the Sierra Alta of Hidalgo.

The population count carried out by the *Instituto Nacional de Estadística y Geografía* (INEGI) revealed that the total population of the Sierra Alta in 1990 was 143 632 inhabitants, while in 1995 it increased to 152 970. For the period 2000-2005 the population remained almost constant, since from 157 880 inhabitants in 2000, it decreased to 157 595 for the year 2005. Subsequently, the population increased to 173,061 by 2010.

The economically active population (EAP) of the Sierra Alta of Hidalgo is equivalent to 32.7 % of the total population, and the municipalities with the least illiteracy in the Sierra Alta of Hidalgo are Zacualtipán de Ángeles (9.8 %), followed by Molango (13.6 %) and Eloxochitlán (16.0 %), while the municipalities with the largest illiterate population are Tepehuacán de Guerrero (29.6 %), Tianguistengo (27.4 %) and the municipality of Calnali (23.6 %) (SNIM, 2010).

The marginalization index for the municipalities of the Sierra Alta of Hidalgo oscillates between -0.67 and 1.37, corresponding to Zacualtipán de Ángeles and Tepehuacán de Guerrero respectively. It is worth mentioning that the latter municipality is the only one in the region that presents a Very High degree of marginalization and ranks 4th at the state level, while the municipalities that have a high degree of marginalization are Calnali, Lolotla, Tianguistengo, Tlahuitlapa and Tlanchinol; those with a medium degree of marginalization are Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Molango, Xochicoatlán and Zacualtipán.

According to the 2016 Agricultural Census Framework Update, published by INEGI, (2016), the *ejidal* area of the Sierra Alta accounts for 61 903.4 ha (21.8 %), communal area 65 144.31 (22.9 %), private property 156 565.32 ha (55.1 %) and public property only 706.26 ha (0.2 %).

## Methodology

The study consists of two scales of analysis: at the regional level, the analysis of land-use change included the use of three INEGI Land Use and Vegetation charts that cover the Sierra Alta of

de origen residual, someros y de desarrollo moderado o incipiente, y generalmente presentan fase lítica. Las diferentes asociaciones vegetales (bosque mesófilo de montaña, bosques de encino, de pino y de oyamel, así como selvas y pastizales, etc.) las proveen de grandes cantidades de materia orgánica en forma de hojarasca que se transforma en humus en el horizonte A, y es en parte, por esta circunstancia, que los suelos son en su mayoría de colores oscuros (INEGI, 1992).

De acuerdo a la información de Uso de Suelo y Vegetación (Serie V) que proporciona el INEGI, el bosque mesófilo de montaña abarca 33 % de la superficie total de la Sierra Alta del estado de Hidalgo, con más de 95 mil ha, le sigue la agricultura de temporal con 21.7 %, los pastizales natural e inducido suman 13 % y en menor proporción, la selva alta perennifolia con 10.2 %, mientras que los bosques de pino, encino y sus respectivas asociaciones abarcan 14 % de la superficie que abarca la Sierra Alta del estado de Hidalgo.

El conteo de población que realiza el Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI reveló que, la población total de la Sierra Alta en el año 1990 era de 143 632 habitantes, mientras que para el año 1995 aumentó a 152 970. Para el periodo 2000-2005 la población se mantuvo casi constante, ya que de 157 880 habitantes que había en el 2000, disminuyó a 157 595 para el año 2005. Posteriormente la población se incrementó a 173 061 para el año 2010.

La población económicamente activa (PEA) de la Sierra Alta del estado de Hidalgo equivale al 32.7 % de la población total, y los municipios con menor analfabetismo en la Sierra Alta del estado de Hidalgo son: Zacualtipán de Ángeles (9.8 %), le siguen Molango (13.6 %) y Eloxochitlán (16.0 %); mientras que los municipios que tienen mayor población analfabeta son: Tepehuacán de Guerrero (29.6 %), Tianguistengo (27.4 %) y el municipio de Calnali (23.6 %) (SNIM, 2010).

El índice de marginación para los municipios de la Sierra Alta del estado de Hidalgo oscila entre -0.67 y 1.37, que corresponden a Zacualtipán de Ángeles y Tepehuacán de Guerrero respectivamente. Cabe mencionar que, el último municipio es el único de la región que presenta grado de marginación Muy Alto y ocupa el 4º lugar a nivel estatal, mientras que

Hidalgo, at 1: 250,000 scale, made in 1976, 1993 and 2011, respectively.

The three charts were standardized so that the same names of land cover and land use coincided in each of them. It is worth mentioning that, for this purpose, the names of the land uses and vegetation types indicated in the guide for the interpretation of the cartography of Land Use and Vegetation series V generated by INEGI were used (Table 1).

los municipios que son de grado de marginación alto son: Calnali, Lolotla, Tlanguistengo, Tlahuiltepa y Tlanchinol y los de grado de marginación medio son: Eloxochitlán, Juárez Hidalgo, Molango, Xochicoatlán y Zacualtipán.

De acuerdo a la Actualización del Marco Censal Agropecuario 2016, publicado por el INEGI, (2016), la superficie ejidal de la Sierra Alta es de 61 903.4 ha (21.8 %), la superficie comunal es de 65 144.31

**Table 1. Categories and denominations of land cover and land use used in the cartographic representation and analysis of the change processes<sup>1</sup>**

**Cuadro 1. Categorías y denominaciones de cobertura y uso de suelo utilizados en la representación cartográfica y análisis de los procesos de cambio<sup>1</sup>**

<b>Group / Grupo</b>	<b>Vegetation cover and Land Use / Cobertura Vegetal y Uso de Suelo</b>
Ecological-Floristic Physiognomic / Ecológica-Florística Fisonómica	Oak forest / Bosque de Encino Oak-Pine forest / Bosque de Encino-Pino Pine forest / Bosque de Pino Pine-Oak forest / Bosque de Pino-Encino Juniper forest / Bosque de Táscate Cloud forest / Bosque Mesófilo de Montaña Evergreen seasonal forest / Selva Alta Perennifolia Deciduous seasonal forest / Selva Baja Caducifolia Tropical evergreen forest / Selva Mediana Subperennifolia Cactus scrub / Matorral Crasicaule Desert / Matorral Submontano Induced grassland / Pastizal Inducido
Agricultural-Livestock-Forestry / Agrícola-Pecuaria-Forestal	Cultivated grassland / Pastizal Cultivado Wet farming / Agricultura de Humedad Irrigation agriculture / Agricultura de Riego Rainfed / Agricultura de Temporal
Complementary / Complementaria	Human settlement / Asentamiento Humano Body of water / Cuerpo de Agua

Source: Compilation with data from INEGI (2015).

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2015).

<sup>1</sup>The description of each of the categories and denominations of land cover and land use can be consulted in the INEGI. Guide for the interpretation of cartography: Use of soil and vegetation. Scale 1: 250 000 series V. (2015).

<sup>1</sup>La descripción de cada una de las categorías y denominaciones de cobertura y uso de suelo se puede consultar en el INEGI. Guía para la interpretación de cartografía: Uso de suelo y vegetación. Escala 1: 250 000 serie V. (2015).

Subsequently, a statistical analysis of the different categories of land cover and land use was carried out using the Land Change Modeler (LCM) module of the TerrSet software, which describes the gains and losses of each of the different categories, using a cross tabulation matrix or transition matrices. This method, proposed by (Pontius, Shusas, & McEachern, 2004), aims to analyze land-use maps in temporary pairs to detect the most significant changes between different land uses. These matrices are associated with a table that compares the surface with each of the two land use maps studied.

At the local level, 54 surveys were conducted among *ejidatarios*, *comuneros* and small landowners, respectively, in three localities of the Sierra Alta of Hidalgo: in the municipality of Xochicoatlán, Texcaco (35 surveys); Tlahuiltepa (14 surveys) and Texacal (5 surveys), both in the municipality of Tianguistengo.

The information collected in the three localities was done with the intention of knowing the perception that landowners have of the change in land use and the reasons or factors influencing the transformation of this phenomenon.

The selection of these communities is based on methodological issues. Although they belong to different municipalities, they are communities that share territorial limits; on the other hand, an adequate level of trust was maintained with the population of these communities, which facilitated the collection of data. Subsequently, the information collected in the field was analyzed with the aid of the SPSS program and the final results were obtained.

## Results and discussion

### *Vegetation cover and Land Use 1976-1993-2011*

In 1976, the land uses and vegetation covers with the highest proportion in the Sierra Alta of Hidalgo were as follows: Cloud Forest occupied a little more than 100 000 ha, equivalent to 35.7 % of the total area of the Sierra Alta of Hidalgo, followed in descending order by Rainfed Agriculture with more than 50 000 ha (17.5 %), Evergreen Seasonal Forest with 36 thousand five hundred ha (12.6 %), Cactus Scrub with almost 22 000 ha (7.5 %), Induced Grassland with a little more than 20 000 ha (7.1 %) and the covers of Oak, Pine and their associations that totaled more than

(22.9 %), la propiedad privada 156 565.32 ha (55.1 %) y la propiedad pública es de tan solo 706.26 ha (0.2 %).

## Metodología

La investigación consta de dos escalas de análisis: A nivel regional el análisis de cambio de uso de suelo incluyó el uso de tres cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI que cubren la Sierra Alta del estado de Hidalgo, a escala 1: 250,000, elaboradas en los años 1976, 1993 y 2011, respectivamente.

Se uniformaron las tres cartas, de tal manera que coincidieran en cada una de ellas los mismos nombres de las coberturas y usos de suelo. Cabe mencionar que, para tal fin, se utilizaron las denominaciones de los usos de suelo y los tipos de vegetación que se indican en la guía para la interpretación de la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación serie V que ha generado el INEGI. (Cuadro 1).

Posteriormente, se realizó un análisis estadístico de las diferentes categorías de cobertura y uso de suelo con ayuda del módulo Land Change Modeler (LCM) del software TerrSet que permite describir las ganancias y las pérdidas de cada una de las diferentes categorías, utilizando una matriz de tabulación cruzada o matrices de transición. Este método, propuesto por (Pontius, Shusas, & McEachern, 2004), tiene la finalidad de analizar los mapas de uso de suelo por pares temporales para detectar los cambios más significativos entre los diferentes usos de suelo. Dichas matrices se asocian con una tabla que compara la superficie con cada uno de los dos mapas de uso de suelo que se analizan.

A escala local, se realizaron 54 encuestas a ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios respectivamente, de tres localidades de la Sierra Alta del estado de Hidalgo: del municipio de Xochicoatlán, Texcaco (35 encuestas); Tlahuiltepa (14 encuestas) y Texacal (5 encuestas) ambas del municipio de Tianguistengo.

La información recabada en las tres localidades se realizó con la intención de conocer la percepción que tienen los dueños de las tierras con el cambio de uso de suelo y las razones o factores que influyen en la transformación de este fenómeno.

La selección de estas comunidades obedece a cuestiones metodológicas; aunque pertenecen

36 000 ha (12.5 %) of the entire area. It is worth mentioning that Wet and Irrigation Agriculture occupied almost negligible areas, while Cultivated Grasslands only occupied about 12 000 ha, equivalent to 4.1 % of the total area. It is also important to mention that, according to the cartographic information, for that year there are no reported human settlement areas, although it is logical to assume that there was some space of that nature.

Figure 2 shows the distribution of vegetation cover and land use for 1976.

In the year 1993, Cloud Forest still covered the largest area, with more than 96 000 ha (33.1 %), followed in descending order by Rainfed Agriculture with almost 63 500 ha (21.8 %), Cultivated Grassland with more than 31 000 ha (10.72 %), and Evergreen Seasonal Forest (10.3 %) with 30 000 ha. The covers of Pine, Oak and their associations represent 14 % of

a different municipios, son comunidades que comparten límites territoriales; por otro lado, se mantuvo un adecuado nivel de confianza con la población de dichas comunidades, lo que facilitó la toma de datos. Posteriormente, se analizó la información recabada en campo con ayuda del programa SPSS y se obtuvieron los resultados finales.

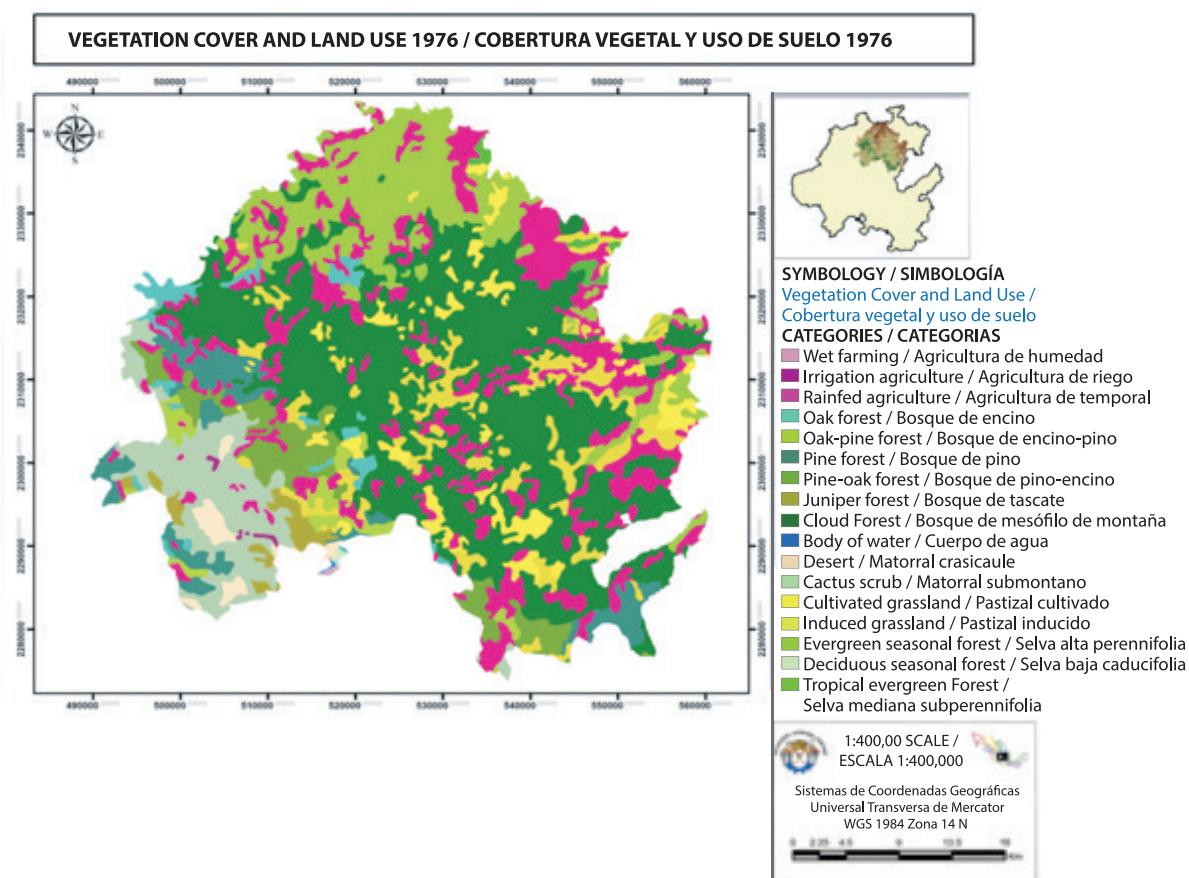
## Resultados y discusión

### Cobertura Vegetal y Uso de Suelo 1976-1993-2011

En el año de 1976 los usos de suelo y coberturas vegetales con mayor proporción en la Sierra Alta del estado de Hidalgo son las siguientes: el Bosque Mesófilo de Montaña ocupaba un poco más de 100 mil ha, equivalentes al 35.7 % de la superficie total de la Sierra Alta hidalguense, le seguía la Agricultura de Temporal con más de 50 mil ha

**Figure 2. Vegetation cover and land use of the Sierra Alta of Hidalgo 1976.**

**Figura 2. Cobertura vegetal y uso de suelo de la Sierra Alta del estado de Hidalgo 1976.**



the total area with more than 40 000 ha. It is worth mentioning that for that year there was no space recorded for Deciduous Seasonal Forest, whereas Juniper Forest had a similar area to that of 1976. Although Irrigated Agriculture continues to show minimum areas with respect to the total area, for 1993 it increased its initial area by almost six times.

Figure 3 shows the distribution of vegetation cover and land use for 1993.

In 2011, land cover and land use followed the same trend as in 1993, but with the following areas: Cloud Forest continued with the largest area, with less than 96 000 ha (33 %), followed in descending order by Rainfed Agriculture with almost 63 000 ha (21.7 %), Cultivated Grassland with more than 31000 ha (10.7%), and Evergreen Seasonal Forest (10.2%) with 29 500 ha. The covers of Pine, Oak and their respective associations, for this same year, were 14.66 % of the total area with more than 40 500 ha.

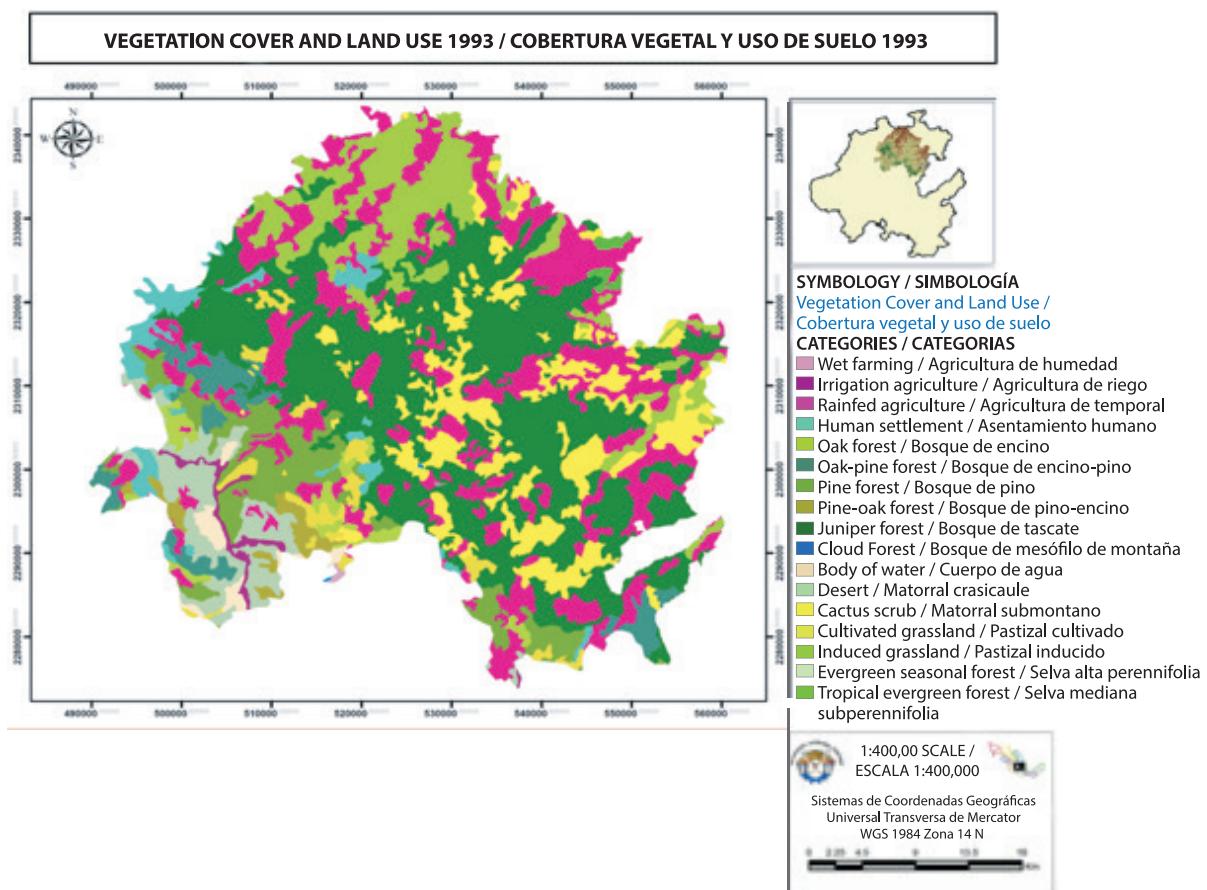
(17.5 %), en tercer lugar, se encontraba la Selva Alta Perennifolia con 36 mil quinientas ha (12.6 %), posteriormente el Matorral Submontano con casi 22 mil ha (7.5 %), el Pastizal Inducido con un poco más de 20 mil ha (7.1 %) y las coberturas de Encino, Pino y sus asociaciones sumaban en total más de 36 mil ha (12.5 %) de la superficie total.

Cabe mencionar que la Agricultura de Humedad y de Riego ocupaban superficies casi inapreciables, mientras que los Pastizales Cultivados solamente ocupaban alrededor de 12 mil ha, equivalentes al 4.1 % de la superficie total. También es importante mencionar que, de acuerdo a la información cartográfica, para ese año no se reportan superficies de asentamientos humanos, aunque lo más lógico es que sí debió haber representado algún espacio considerado.

En la Figura 2, se muestra la distribución de las coberturas vegetales y uso de suelo para el año 1976.

**Figure 3. Vegetation cover and land use of the Sierra Alta of Hidalgo 1993.**

**Figura 3. Cobertura vegetal y uso de suelo de la Sierra Alta del estado de Hidalgo 1993.**



For that year also, no Deciduous Seasonal Forest area was recorded, while the Juniper Forest had an area similar to that of 1993. Irrigation Agriculture for that period remained constant, occupying only about 2 000 ha. The distribution of cover and land use in 2011 is shown in Figure 4.

Figure 5 shows the trend of area occupied by the different vegetation covers and land uses in the Sierra Alta of Hidalgo in the 1976, 1993 and 2011 study area.

#### *Changes in vegetation cover and land use*

1976-1993-2011

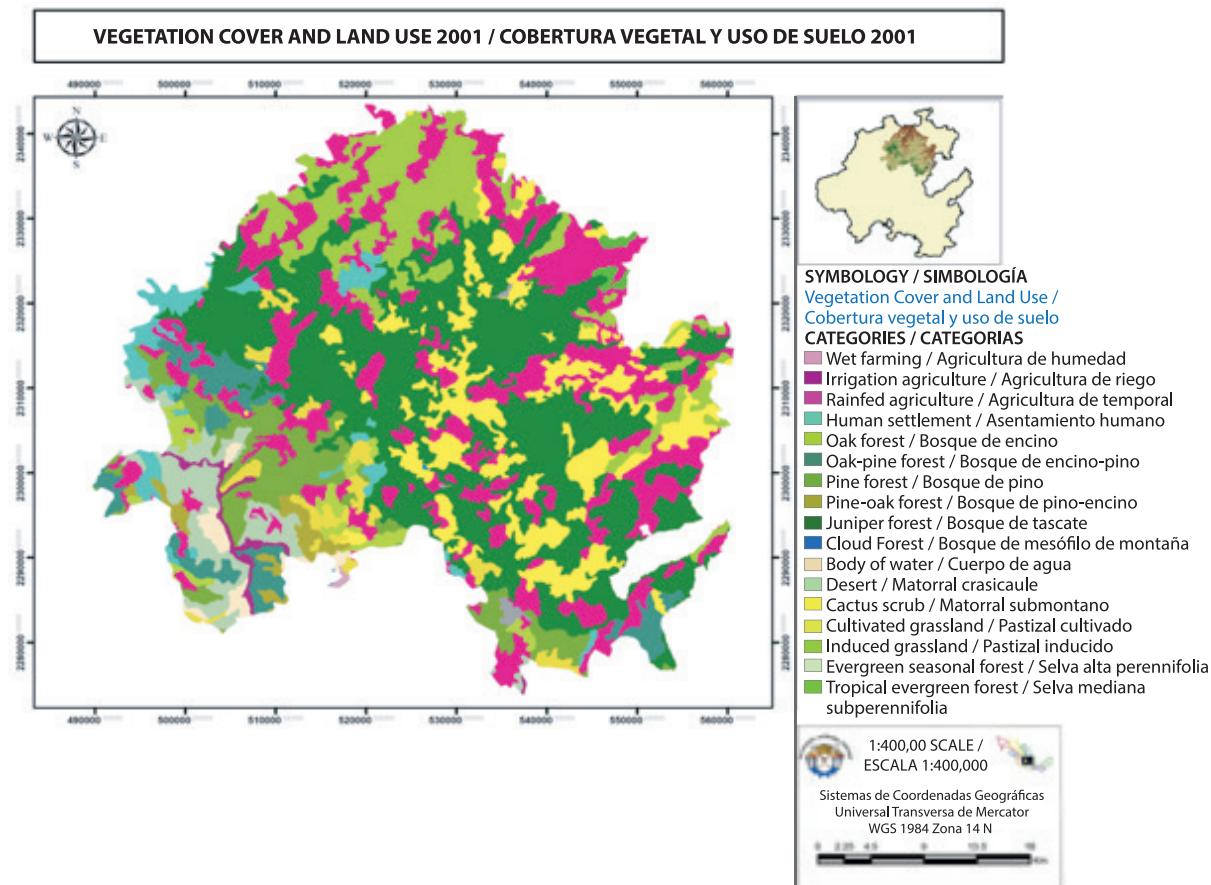
The results enable highlighting the changes in vegetation cover and land use that occurred in the Sierra Alta of Hidalgo during the period 1976-2011, and show that, in the first phase analyzed (1976-1993),

En el año 1993, el área de Bosque Mesófilo de Montaña seguía ocupando la mayor extensión, con más de 96 mil ha (33.1 %), la Agricultura de Temporal con casi 63 mil quinientas ha (21.8 %), el tercer lugar el Pastizal Cultivado con más de 31 mil ha (10.72 %), el cuarto lugar la Selva Alta Perennifolia (10.3 %) con 30 mil ha. Las coberturas de Pino, Encino y sus respectivas asociaciones, suman el 14 % de la superficie total con más de 40 mil ha. Cabe resaltar que para ese año la Selva Baja Caducifolia no registró superficie ocupada, el Bosque de Táscate anotó superficie similar a la del año 1976. Aunque la Agricultura de Riego sigue mostrando superficies mínimas con respecto a la superficie total, para 1993 aumentó casi seis veces su superficie inicial.

En la Figura 3, se muestra la distribución de las coberturas vegetales y uso de suelo para el año 1993.

**Figure 4. Vegetation cover and land use of the Sierra Alta of Hidalgo 2011.**

**Figura 4. Cobertura vegetal y uso de suelo de la Sierra Alta del estado de Hidalgo 2011.**

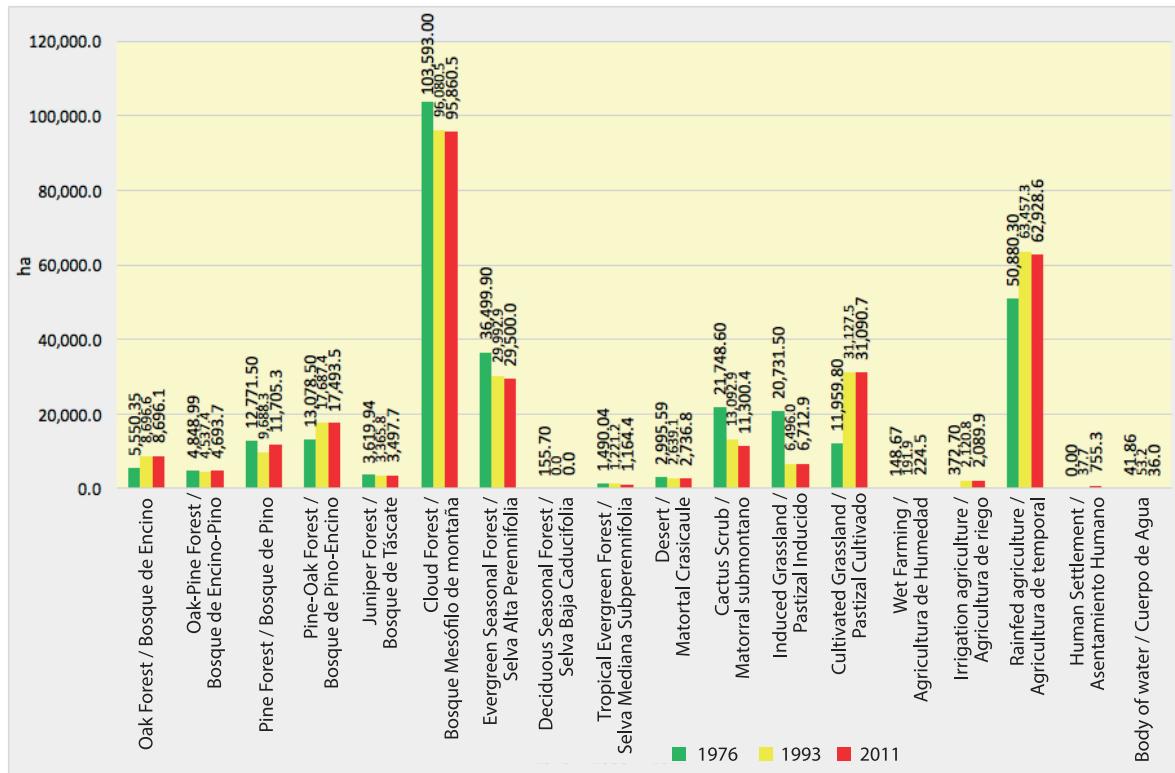


**Figure 5. Area occupied by vegetation cover and land use in the Sierra Alta of Hidalgo.**

1976-1993-2011

**Figura 5. Superficie ocupada de cobertura vegetal y uso de suelo en la Sierra Alta del estado de Hidalgo**

1976-1993-2011



the changes occurred with greater intensity, while in the second phase of analysis (1993-2011) the changes remained almost constant, as shown in Figure 6.

Among the most noteworthy changes, Cultivated Grassland stands out with an increase in the first stage of analysis, since it went from 8th place with 4.1 % of the total area of the Sierra Alta of Hidalgo to 3rd place with 10.7 %, that is to say, livestock farming with species introduced in the region increased its area by 2.6 times with respect to the initial year.

For the second period of analysis (1993-2011), the Cultivated Grassland area remained relatively stable, since from 1993-2011 it decreased in area by only 37 ha, that is, the change trend that occurred in the first 17 years is similar to that which occurred over 35 years.

Rainfed Agriculture is another of the land uses that shows dramatic changes: in the period 1976-1993 it increased by more than 12 500 hectares, while for the period 1993-2011, it decreased by approximately 500 ha.

En el año 2011, las coberturas y usos de suelo ocuparon la misma tendencia de superficies ocupadas en el año 1993, pero con las siguientes áreas: el Bosque Mesófilo de Montaña siguió ocupando la mayor extensión, con menos de 96 mil ha (33 %), la Agricultura de Temporal con casi 63 mil ha (21.7 %), en tercer lugar, sigue siendo el Pastizal Cultivado con más de 31 mil ha (10.7 %), en cuarto lugar, la Selva Alta Perennifolia (10.2 %) con 29 mil quinientas ha. Las coberturas de Pino, Encino y sus respectivas asociaciones, para este mismo año, sumaron el 14.66 % de la superficie total con más de 40 mil quinientas ha.

Para ese año la Selva Baja Caducifolia tampoco registra superficie ocupada, el Bosque de Táscate registró superficie similar a la del año 1993. La Agricultura de Riego para ese periodo permaneció constante ocupando solamente alrededor de 2 mil ha. La distribución de la cobertura y usos de suelo del año 2011 se presenta en la Figura 4.

**Figure 6. Indicators of land-use and vegetation cover change in the Sierra Alta of Hidalgo: 1976-1993 and 1993-2011**  
**Figura 6. Indicadores de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en la Sierra Alta del estado de Hidalgo: 1976-1993 y 1993-2011**



Of the covers that lost surface area, Induced Grassland stood out with more than 14 200 in the first phase, Cactus Scrub with more than 8 600, Cloud Forest with more than 7 500 and Evergreen Seasonal Forest with more than 6 500.

The above results indicate that losses in vegetation cover were due to the expansion of agricultural activities in the region, with the establishment of paddocks for livestock being the most predominant reason, followed by an increase in Rainfed Agriculture and finally, with a minuscule proportion and in very localized areas, the growth of Irrigated Agriculture.

From 1976-1993 the Forests and Rainforests of the Sierra Alta of Hidalgo lost more than 10 000 ha, while from 1993-2011 they recovered more than one thousand three hundred ha, resulting in a net loss of almost 9 000 ha in the 35 years studied.

During the whole period studied, Cultivated Grassland is the cover with the largest increased surface area, with 19 130 ha (of which 57.5 % came from Induced Grassland, 30.9 % from Cloud Forest, 6 % from Rainfed Agriculture and only 5.3 % from Evergreen Seasonal Forest), followed by Rainfed Agriculture with a little more than 12 000 ha (39.6 % came from Evergreen Seasonal Forest, 30.1 % from Cloud Forest, 24 % from Induced Grassland and 10 % from Pine Forest), Pine-Oak Forest with 4 415 ha and Oak Forest with 3 145 ha.

Of the covers that decreased in area, Induced Grassland lost about 14 000 ha (of which 78.4 % became Cultivated Grassland, 20.7 % Rainfed Agriculture and 10 % Cloud Forest).

Cactus Scrub decreased 10 450 ha (of this decrease, 33.1 % changed to Pine-Oak Forest, 21.2 % to Oak Forest, 14.6 % to Pine Forest, 13.1 % to Irrigation Agriculture and 9.1 % to Rainfed Agriculture).

Cloud Forest lost almost 8 000 ha (76.5 % of that area was transformed into Cultivated Grassland, 46.9 % into Rainfed Agriculture, but in the same period it had gains of 18.4 % coming from Induced Grassland) and the Evergreen Seasonal Forest lost 7 000 ha.

Figure 7 shows the losses, gains and net changes of the different covers and land uses in the period 1976-2011.

En la Figura 5, se muestra la tendencia de superficie ocupada por las diferentes coberturas vegetales y usos de suelo de la región Sierra Alta del estado de Hidalgo en el periodo de estudio 1976,1993 y 2011.

#### *Cambios ocurridos sobre la cobertura vegetal y uso de suelo 1976-1993-2011*

Los resultados han permitido evidenciar los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo ocurridos en la Sierra Alta del estado de Hidalgo durante el periodo 1976-2011, y ponen de manifiesto que, en la primera fase analizada (1976-1993), los cambios ocurrieron con mayor intensidad, mientras que en la segunda fase de análisis (1993-2011), los cambios permanecieron casi constantes Figura 6.

Entre los cambios más sobresalientes predomina el Pastizal Cultivado con un incremento en la primera etapa de análisis, ya que, de ocupar el 8º lugar con el 4.1 % de la superficie total de la Sierra Alta del estado de Hidalgo, pasó a ocupar el 3º lugar con el 10.7 %, es decir, la actividad ganadera con especies introducidas en la región aumentó 2.6 veces su superficie con respecto al año inicial.

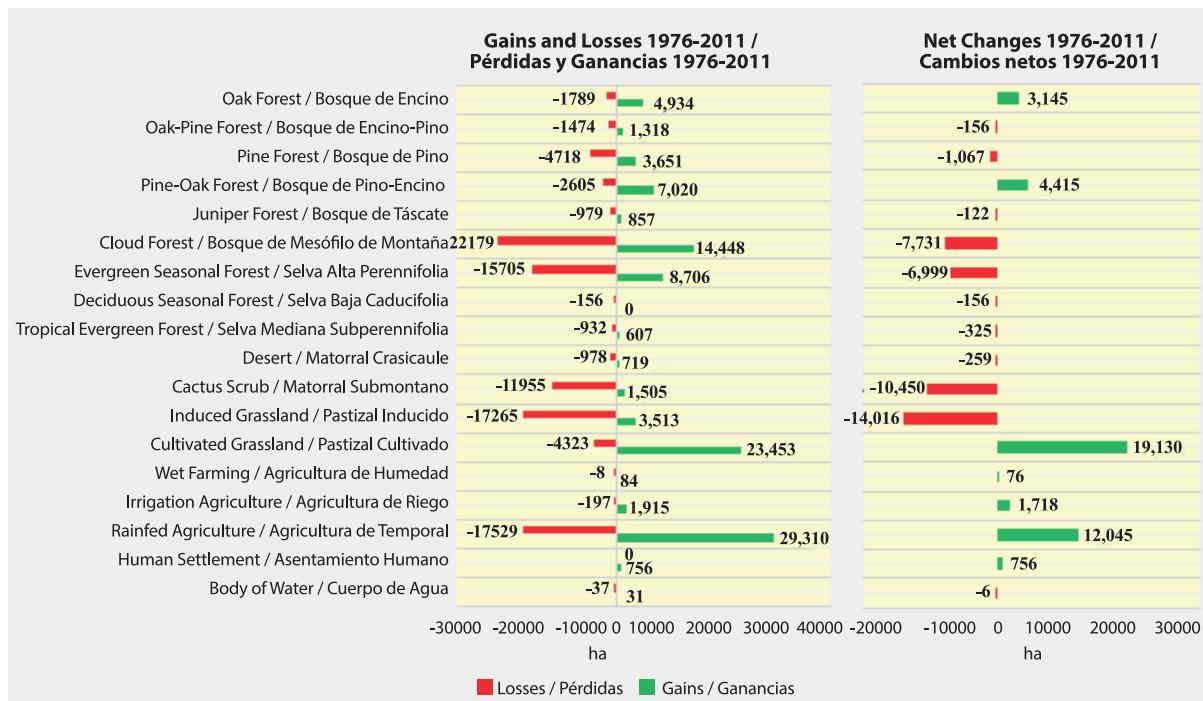
Para el segundo periodo de análisis (1993-2011) la superficie de Pastizal Cultivado se mantuvo relativamente uniforme, ya que de 1993-2011 redujo su superficie en solo 37 ha, es decir, la tendencia de cambios ocurridos en los primeros 17 años es similar a la tendencia ocurrida en los 35 años.

La Agricultura de Temporal es otro de los usos de suelo que presentaron cambios intensos: En el periodo que va de 1976-1993 se incrementó en más de 12 mil quinientas hectáreas, mientras que para el periodo 1993-2011, se redujo en 500 ha aproximadamente.

De las coberturas que perdieron superficie, destacan el Pastizal Inducido con más de 14 mil doscientas en la primera fase, el Matorral Submontano con más de 8 mil seiscientas, el Bosque Mesófilo de Montaña con más de 7 mil quinientas y la Selva Alta Perennifolia con más de 6 mil quinientas.

Los resultados anteriores indican que, las pérdidas en las coberturas vegetales fueron destinadas a las actividades agropecuarias de la región, sobresaliendo el establecimiento de potreros para la ganadería y

**Figure 7. Indicators of land-use and vegetation cover change in the Sierra Alta of Hidalgo: 1976-2011**  
**Figura 7. Indicadores de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal en la Sierra Alta del estado de Hidalgo:**  
**1976-2011**



### Causes that encourage land-use change in three localities of Sierra Alta of Hidalgo

According to the results obtained in the three localities of the Sierra Alta of Hidalgo, the main reasons why changes in land use occur are due to underlying factors: institutional policies (24.1 %), economic factors (18.7 %) and demographic factors (14.9 %), although they also mentioned immediate causes such as the expansion of agricultural activities (16.7 %) and other factors associated with the characteristics and quality of the land<sup>1</sup> (26 %) Figure 8.

These results coincide partially with the study carried out by Geist and Lambin (2002), due to the fact that both economic factors and institutional policies stand out as the main causes of land-use change.

<sup>1</sup>When the characteristics and quality of the land in the localities of the Sierra Alta of Hidalgo are mentioned, those surveyed report that the land has very steep slopes and shallow soils, which accelerates erosion and consequently it becomes unproductive; therefore, farmers are forced to clear new land for the establishment of cornfields and paddocks. Despite the existence of a megadiverse ecosystem, due to its conditions, it has high levels of ecological fragility, which means that the changes caused are irreversible.

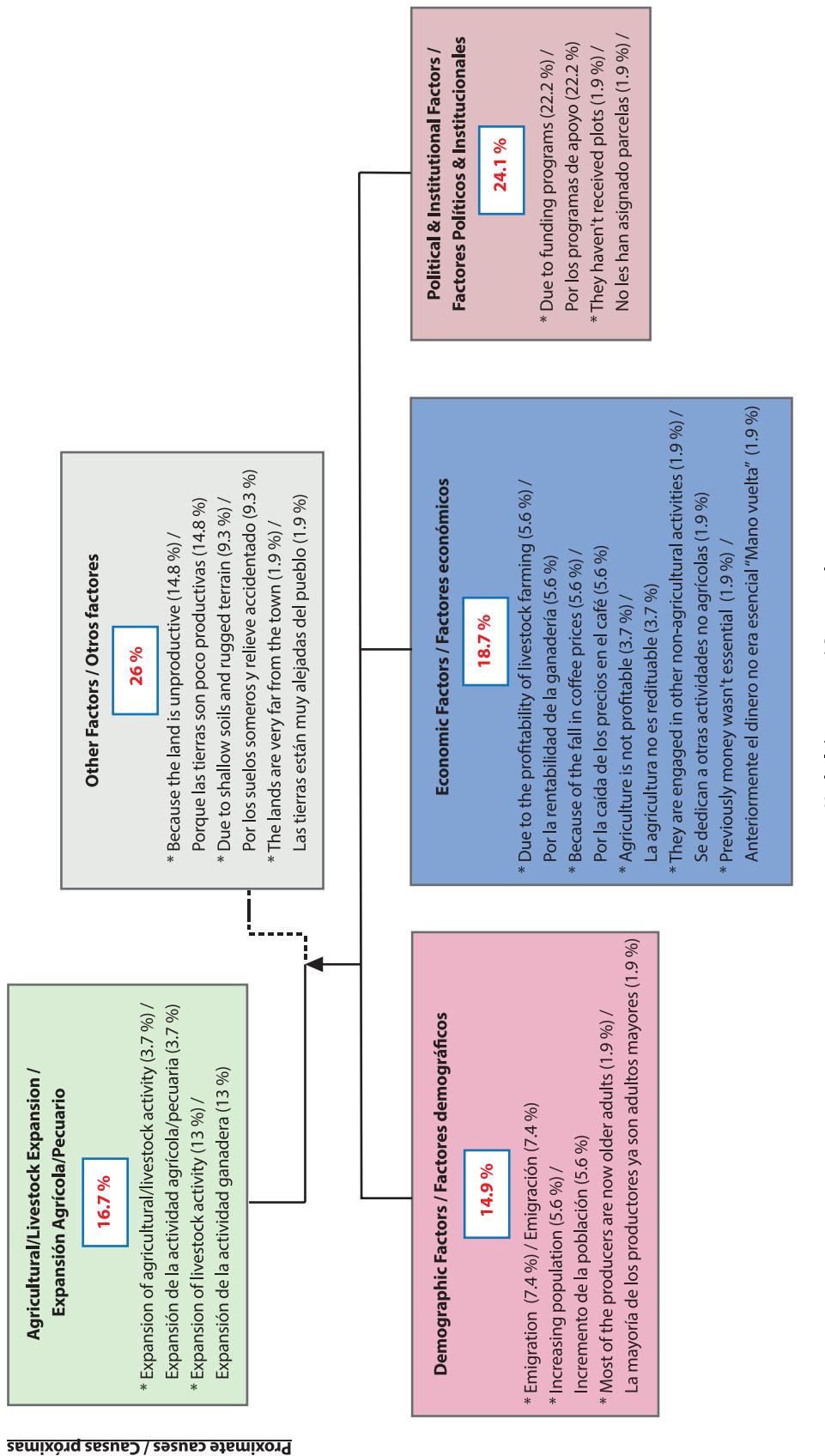
con menor proporción la Agricultura de Temporal y con una proporción minúscula y en zonas muy localizadas, el crecimiento de la Agricultura de Riego.

De 1976-1993 los Bosques y Selvas de la Sierra Alta del estado de Hidalgo perdieron más de 10 mil ha, mientras que de 1993-2011 se recuperaron en más de mil trescientas ha, dando como resultado una pérdida neta de casi 9 mil ha en los 35 años analizados.

Durante todo el periodo analizado, el Pastizal Cultivado es la cobertura con mayor superficie aumentada, con 19 mil 130 ha, (de las cuales el 57.5 % provenían del Pastizal Inducido, el 30.9 % del Bosque Mesófilo de Montaña, el 6 % de la Agricultura de Temporal y solamente el 5.3 % de la Selva Alta Perennifolia) le sigue la Agricultura de Temporal con un poco más de 12 mil ha, (39.6 % provenían de la Selva Alta Perennifolia, 30.1 % del Bosque Mesófilo de Montaña, 24 % del Pastizal Inducido y el 10 % de Bosque de Pino), el Bosque de Pino-Encino con 4 415 ha y el Bosque de Encino con 3 145 ha.

De las coberturas que disminuyeron su superficie, el Pastizal Inducido perdió alrededor de 14 mil ha

**Figure 8. Underlying and proximate reasons of land-use change in three communities of the Sierra Alta of Hidalgo.**  
**Figura 8. Causas subyacentes y próximas del cambio de uso de suelo en tres comunidades de la Sierra Alta del estado de Hidalgo.**



The main immediate cause expressed by most of the people interviewed in this study was associated with the physical-environmental characteristics of the land, while in the study carried out by Geist and Lambin (2002), this cause is in last place. On the other hand, it is important to mention that the expansion of agricultural activities coincides in both studies.

Although none of the interviewees mentioned technological and socio-cultural factors as underlying causes of land-use change, this study detects some changes in production processes influencing this dynamic, including: technology, such as the use of agrochemicals to facilitate work in agricultural activities; changes in the cultural labors used in the cornfield system, which seek minimum soil removal; the integration of crop residues to improve soils; and avoiding the burning of vegetation removed in the establishment of their crops.

It is also important to mention that the internal regulations of the localities, although they are not in written form and in some cases are applied in an irregular manner, contribute substantially to the use of their natural resources, favoring a decrease in the change of land use in the *ejidos* and communities of the Sierra Alta of Hidalgo.

When relating the values found in the study of land-use change dynamics with the perception of producers of this phenomenon, we find that, in the period of analysis from 1993-2011, the changes have remained constant and according to the surveys are associated with the emigration of the local population to nearby cities and even to the United States in search of more profitable sources of employment: Additionally, most of the producers are older adults and those who have remained mention that since the lands are not very productive, they have diversified their activities into areas that are not necessarily related to agriculture or livestock raising.

On the other hand, according to what has been observed for five years in the study area, some of the causes for the decrease in land-use change in the last analysis period are the following:

- Young people are little involved in the activities of the countryside carried out by heads of families, because most of them study or emigrate in search of better jobs,

(de las cuales el 78.4 % se transformaron en Pastizal Cultivado, el 20.7 % se convirtió en Agricultura de Temporal y el 10 % en Bosque Mesófilo de Montaña).

El Matorral Submontano disminuyó 10 450 ha (de esta disminución, el 33.1 % cambió a Bosque de Pino-Encino, el 21.2 % a Bosque de Encino, el 14.6 % a Bosque de Pino, el 13.1 % a Agricultura de Riego y el 9.1% a Agricultura de Temporal).

El Bosque Mesófilo de Montaña perdió casi 8 mil ha (el 76.5 % de esa superficie se transformó en Pastizal Cultivado, el 46.9 % en Agricultura de Temporal, pero en el mismo periodo tuvo ganancias del 18.4 % que provenían del Pastizal Inducido) y la Selva Alta Perennifolia perdió 7 mil ha.

En la Figura 7 se muestran las pérdidas, ganancias y cambios netos de las diferentes coberturas y usos de suelo en el periodo 1976-2011.

Causas que fomentan el cambio en el uso del suelo en tres localidades de a Sierra Alta del estado de Hidalgo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las tres localidades de la Sierra Alta del estado de Hidalgo, las principales razones por las que ocurren los cambios de uso de suelo se deben a factores subyacentes: políticas institucionales (24.1 %), económicos (18.7 %) y demográficos (14.9 %), aunque también mencionaron causas inmediatas como la expansión de las actividades agropecuarias (16.7 %) y otros factores asociados a las características y calidad de las tierras<sup>1</sup> (26 %) Figura 8.

Estos resultados coinciden parcialmente con el estudio realizado por Geist y Lambin (2002), debido a que sobresalen en ambos los factores económicos y, a políticas institucionales como las principales causas del cambio de uso de suelo.

La principal causa inmediata que expresaron la mayoría de las personas entrevistadas en este estudio estuvo asociada a las características físico-ambientales de la tierra, mientras que en el

<sup>1</sup>Cuando se mencionan las características y calidad de las tierras en las localidades de la Sierra Alta del estado de Hidalgo, los encuestados refieren que, los terrenos presentan pendientes muy pronunciadas y suelos poco profundos, lo que acelera su erosión y en consecuencia, estos se vuelven improductivos, por lo que los campesinos se ven obligados a desmontar nuevos terrenos para el establecimiento de milpas y potreros. A pesar de que existe un ecosistema megadiverso, por sus condiciones, presenta niveles altos de fragilidad ecológica, lo que significa que los cambios ocasionados son irreversibles.

with the purpose of improving their quality of life, and those who stay show little interest in the activities of the countryside.

- The lands of the agricultural cores have already been assigned (as the case may be) to the *ejidatarios or comuneros* and those that have not been distributed are those of common use. Although these are lands with high biodiversity, they have very steep slopes, are located far from human settlements, and are thus not suitable for agricultural activities, so they have been destined for conservation; for this reason, the new *ejidatarios* and *comuneros* cannot hope to be assigned new areas, but rather inherit the lands of their parents. This situation favors the conservation of the forests and contributes to the fact that the agricultural/livestock border does not continue to increase.
- People who migrate leave their land abandoned and rarely do other family members return to rural activities because they are economically dependent on government programs and remittances from heads of households. This scenario helps soils to regenerate and secondary vegetation to thrive.
- The Support Program for Sustainable Forest Development (PRONAFOR) has contributed to the protection, conservation, and sustainable use of ecosystems in agricultural cores, through economic incentives within the Payment for Environmental Services component, which seeks to promote the long-term provision of environmental services, such as water harvesting and the maintenance of biodiversity.
- Within the statutes and internal regulations of the agricultural cores, the removal of natural vegetation is restricted, that is to say, the cover of high mountains and wooded areas, except for specific cases in which the population, with prior authorization from the authorities, uses forest resources within the same localities, although their use for commercial purposes is prohibited.

estudio realizado por Geist y Lambin (2002), esa causa se encuentra en último lugar. Por otro lado, es importante mencionar que la expansión de las actividades agropecuarias coincide en ambos estudios.

Aunque ninguna de las personas entrevistadas mencionó los factores tecnológicos y socioculturales como causas subyacentes en el cambio de uso de suelo, la investigación detecta algunos cambios en los procesos productivos que influyen en esta dinámica, entre los que se incluyen: la tecnología, como el uso de agroquímicos para facilitar los trabajos en las actividades agropecuarias; cambios en las labores culturales empleados en el sistema milpa, que buscan la mínima remoción del suelo; la integración de los residuos de cosecha para mejorar los suelos y, evitar la quema de la vegetación eliminada en el establecimiento de sus cultivos.

También es importante mencionar que los reglamentos internos de las localidades, aunque no se encuentran de manera escrita y que en algunos casos se aplican de manera irregular, contribuyen de manera sustancial en el aprovechamiento de sus recursos naturales, favoreciendo la disminución en el cambio de uso de suelo en los ejidos y comunidades de la Sierra Alta del estado de Hidalgo.

Al relacionar los valores arrojados en el estudio de la dinámica del cambio de uso de suelo con la percepción de los productores sobre este fenómeno, encontramos que, en el periodo de análisis que va de 1993-2011 los cambios han permanecido constantes y de acuerdo a las encuestas, está asociado a la emigración de la población local hacia las ciudades cercanas e incluso a los Estados Unidos de América, para buscar fuentes de empleo más redituables, además de que la mayoría de los productores son adultos mayores y los que se han quedado mencionan que, como las tierras son poco productivas, han diversificado sus actividades que no necesariamente son agrícolas o pecuarias.

Por otro lado, de acuerdo a lo observado durante cinco años en la zona de estudio, algunas de las causas por las que en el último periodo de análisis se ha disminuido el cambio de uso de suelo son las siguientes:

- Los jóvenes están poco involucrados en las actividades del campo que realizan los

The three localities studied have statutes and regulations governing the use of natural resources, although they are not written. Specifically, in the community of Texacal the rules are minimal because land tenure is constituted by small property and these rules only apply to the areas of the agricultural cores.

The internal regulations of the localities, despite the fact that in some cases they are applied in an irregular manner, contribute substantially to the use of their natural resources, favoring a decrease in the change of land use in the ejidos and communities of the Sierra Alta of Hidalgo.

Therefore, some guidelines are suggested for the formulation of written rules and norms based on what the localities studied have established according to their uses and customs.

With regard to the foregoing, Sepúlveda et al. (2003) suggest that the implementation of proposals aimed at sustainable rural development must be based on a territorial approach, that is to say, the territory should be considered as a social and historical product that grants a unique social structure, endowed with a determined base of natural resources, its forms of production, consumption and exchange, and a series of institutions, both endogenous and exogenous, that are responsible for giving cohesion to the rest of the elements.

### Conclusions

The Sierra Alta of Hidalgo has undergone different changes in vegetation cover and land use, associated with various factors: economic, political and institutional, demographic, technological and cultural.

The analysis of the dynamics of land-use change is complex, because the variables interacting in this relationship are multiple and, in order to understand how it affects resources, the fundamental processes must be known in a social, economic and spatial context.

In the use of natural resources, it is extremely important to have indicators that quantify changes in land cover and use, since these values offer us a geospatial, graphical view of changes in the territory and are indicators of the level of environmental and

jefes de familia, debido a que en su mayoría estudian o emigran en busca de mejores empleos, con el propósito de mejorar su calidad de vida y, los que se quedan, muestran poco interés en las actividades del campo.

- Las tierras de los núcleos agrarios ya han sido asignadas (según sea el caso) a los ejidatarios o comuneros, y las que no han sido repartidas, son las de uso común, -aunque son tierras con alta biodiversidad, presentan superficies con pendientes muy pronunciadas, alejadas de los asentamientos humanos y que resultan no aptas para actividades agropecuarias-, por lo que han sido destinadas para su conservación; por esta razón, los nuevos ejidatarios y comuneros no pueden aspirar a que les asignen nuevas superficies, sino que heredan los terrenos de sus padres. Esta situación, favorece la conservación de los bosques y contribuye a que la frontera agrícola/pecuaria no siga aumentando.
- Las personas que emigran dejan sus tierras abandonadas y pocas veces los demás integrantes de la familia retoman las actividades relacionadas con el campo, debido a que dependen económicamente de los programas gubernamentales y de las remesas que envían los jefes de familia. Este escenario ayuda a que los suelos se regeneren y prospere la vegetación secundaria.
- El Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable (PRONAFOR) ha contribuido en la protección, conservación, y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas en los núcleos agrarios, mediante incentivos económicos dentro del componente, Pago por Servicios Ambientales, el cual busca fomentar la provisión en el largo plazo de los servicios ambientales, tales como la captación de agua y el mantenimiento de la biodiversidad.
- Dentro de los estatutos y reglamentos internos de los núcleos agrarios está restringida la eliminación de la vegetación

socioeconomic repercussions that this territory could have.

The natural resources available in the Sierra Alta of Hidalgo are strongly affected by the change in land use, so it is essential that communities carry out joint planning to determine the rationed use of their natural resources and ensure that future generations have access to goods and services currently available in them.

Under this scenario, it is extremely important that public institutions design and formulate plans and programs aimed at regulating land-use actions and avoiding conflicts in societies, always seeking the welfare of the population and respect for internal laws that as social groups they establish to live in harmony with nature. Therefore, it is of utmost importance that the localities of the Sierra Alta of Hidalgo strengthen and develop their community statutes and regulations and form local institutions in order to regulate and optimize the use of natural resources.

*End of English version*

---

## References / Referencias

- Bocco, G., Mendoza, M., & Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio de uso de suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México Núm. 44*, 2001, pág.18-38.
- Dale, V. H. (1997). The relationship between land-use change and climate change. *Ecological Applications*, 7(3), 753-769.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*, 52(2), 143-150.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1992). Síntesis Geográfica del estado de Hidalgo. México. pp.13-15, 33-36.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Guía para la interpretación de cartografía: Uso de suelo y

natural, es decir, de las coberturas de montes altos y zonas boscosas, salvo para casos específicos en los que la población, mediante autorización previa de las autoridades, utilizan recursos forestales dentro de las mismas localidades, quedando prohibido su uso para fines comerciales.

Las tres localidades estudiadas cuentan con estatutos y reglamentos que regulan el uso de los recursos naturales, aunque no se encuentran escritos. De manera específica, en la comunidad de Texacal las reglas son mínimas debido a que la tenencia de la tierra es de tipo pequeña propiedad y dichas reglas solamente aplican para las áreas de los núcleos agrarios.

Los reglamentos internos de las localidades, a pesar de que en algunos casos se aplican de manera irregular, contribuyen de manera sustancial en el aprovechamiento de sus recursos naturales, favoreciendo la disminución en el cambio de uso de suelo en los ejidos y comunidades de la Sierra Alta del estado de Hidalgo.

Por lo anterior, se sugieren algunos lineamientos para la formulación de reglas y normas escritas a partir de lo que han establecido las localidades estudiadas de acuerdo con sus usos y costumbres.

Con respecto a lo antes planteado, Sepúlveda et al. (2003), sugiere que la implementación de propuestas en busca de un desarrollo rural sustentable, debe estar basado bajo un enfoque territorial, es decir, el territorio debe considerarse como un producto social e histórico, que conceda un tejido social único, dotado de una determinada base de recursos naturales, sus formas de producción consumo e intercambio, y una serie de instituciones, tanto endógenas como exógenas que se encarguen de dar cohesión al resto de los elementos.

## Conclusiones

La Sierra Alta del estado de Hidalgo ha experimentado diversos cambios en la cobertura vegetal y usos de suelo, asociados a diversos factores: económicos, políticos e institucionales, demográficos, tecnológicos y culturales.

El análisis de la dinámica de cambio de uso de suelo es complejo, porque las variables que interactúan en esa relación son múltiples y, para

- vegetación. Escala 1: 250,000 serie V. Instituto Nacional de Estadística y Geografía -México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Censos Agropecuarios y Ejidales. Actualización del Marco Censal Agropecuario 2016. Publicación en línea, disponible en internet en el sitio <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/agro/amca/> [con acceso el 22-04-2017].
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Conjunto de Datos Vectoriales de la carta de Uso del Suelo y Vegetación, escala 1: 250,000. Series: I, II y V. Cartas F1408 Y F1411. Publicación en línea, disponible en internet en el sitio <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas/?tg=3587> [con acceso el 10-03-2017].
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 21(3), 375-393.
- Lambin, E. F., Geist, H. J., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28(1), 205-241.
- Lorenzo, M. C. (2001). Sierra Alta Hidalguense: monografía: Consejo Estatal para la Cultura y las Artes del estado de Hidalgo.
- Palacio, P. J., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J. F., Takaki, T. F., Victoria, A..., González, M., F. (2000). La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones geográficas*, (43), 183-203. Publicación en línea, disponible en internet en el sitio [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112000000300012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000300012&lng=es&tlng=es). [con acceso el 03-04-2018]].
- Pontius, R. G. Jr., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, no. 101, pp. 251—268.
- Contreras H., J., & Gracia A., M. (2005). Alimentación y cultura. Perspectivas antropológicas. *Revista de Investigaciones Sociales*, vol. 387-392.
- Registro Agrario Nacional (2018). Servicios públicos de información. Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA). Estructura de la propiedad social. Publicación en línea, disponible en internet en el sitio <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php/sistemas-de-consulta/phina> [con acceso el 8-02-2018]].
- entender cómo afecta a los recursos, se deben conocer los procesos fundamentales en un contexto social, económico y espacial.
- En el aprovechamiento de los recursos naturales es de suma importancia contar con indicadores que cuantifiquen los cambios en la cobertura y uso de suelo, ya que estos valores nos ofrecen una visión gráfica geoespacial de cambios en el territorio y que son indicadores del nivel de repercusiones ambientales y socioeconómicas que dicho territorio pudiera tener.
- Los recursos naturales disponibles en la Sierra Alta del estado de Hidalgo se ven fuertemente afectados por el cambio de uso de suelo, por lo que es indispensable que las comunidades realicen una planeación conjunta para determinar el aprovechamiento racionado de sus recursos naturales y asegurar que las futuras generaciones tengan acceso a los bienes y servicios que actualmente disponen en sus comunidades.
- Bajo este escenario, es de suma importancia que las instituciones públicas, diseñen y formulen planes y programas enfocados a reglamentar las acciones relacionadas con el uso de suelo, y evitar conflictos en las sociedades, buscando siempre el bienestar de la población y el respeto a las leyes internas que como grupos sociales establecen para vivir en armonía con la naturaleza. Por ello, es de suma importancia que las localidades de la Sierra Alta del estado de Hidalgo refuerzen y elabores sus estatutos y reglamentos comunitarios y formen instituciones locales con la finalidad de regular y optimizar el uso de los recursos naturales.

*Fin de la versión en español*

- Rivas, P. E., Romero, N. L., & México. (1997). Hidalgo: Entre selva y milpas... la neblina. México, D.F: Secretaría de Educación Pública.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México.
- Sepúlveda, S., Rodríguez, A., Echeverri, R., & Portilla, M. (2003), El Enfoque Territorial del Desarrollo Rural. IICA, San José de Costa Rica.
- Sistema Nacional de Información Municipal. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2010). Publicación en línea, disponible en internet en el sitio <http://www.snim.rami.gob.mx/> [con acceso el 20-05-2017].

