



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

Remote Sensing and Geographic Information System in the Decision Making Process for Land Management

La teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para el manejo de las tierras

M.Sc. Beatriz Lao Ramos, Lic. Dania Peláez Hernández.

Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey, Camagüey, Cuba.

ABSTRACT. Proper management of the land resource is an important indicator of food production and the localities' economic development. The use of tools such as remote sensing and GIS allow collecting and processing information related to land use, inaccessible areas and retrospective time periods, which contribute to the decision making process for proper resource planning. This study aims to show the application of these tools in land management, analyzing since its use, for Jimaguayu Municipality during 1977-2012 period. Remote sensing allowed obtaining the spatial distribution of land use by 1986. The GIS was used in the analysis of spatial-temporal dynamic. The results show that changes in land use had, in many cases, a negative impact on local agricultural development, with decrease tendency in the natural pastures areas and an increase of the uncultivated area. This caused problems in agricultural sector such as loss of land resources, overgrazing of areas, compaction of soils, etc. This result was used in the local Environmental Management Model analysis.

Keywords: land management, geographic information system, remote sensing, land use.

RESUMEN. El manejo apropiado del recurso tierra constituye un indicador importante en la producción de alimentos y el desarrollo económico de las localidades. El empleo de herramientas como la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten la obtención y procesamiento de información relacionada con el uso de la tierra, áreas inaccesibles y períodos de tiempos retrospectivos, lo que contribuye al proceso de toma de decisiones para una correcta planificación del recurso. Este estudio tiene como objetivo mostrar la aplicación de estas herramientas en el manejo de tierras, analizado desde su uso, para el municipio Jimaguayu durante el período 1977-2012. La teledetección permitió obtener la distribución espacial del uso de la tierra para el año 1986. El SIG se empleó en el análisis de la dinámica espacio-temporal. Los resultados muestran que los cambios de uso de la tierra repercutieron, en muchos casos, de forma negativa en el desarrollo agropecuario local, con tendencia al decrecimiento en las áreas ocupadas por pastos naturales y un incremento en las tierras desoladas. Esto originó problemas dentro del sector agropecuario como: el desaprovechamiento del recurso tierra, el sobrepastoreo de las áreas, la compactación de los suelos, etc. Este resultado fue utilizado en el análisis del Modelo de Ordenamiento Ambiental local.

Palabras clave: manejo de tierras, sistema de información geográfica, teledetección, uso de la tierra.

INTRODUCTION

Camagüey Province has been characterized by the development of agricultural activity, mainly the livestock sector, since previous centuries. The existence of a flat terrain, characterized by the presence of marine terraces with several levels (Faloh *et al.*, 1989) favors the development of this activity in the province. The advance of the Livestock Program in the territory required the realization of numerous transformations,

INTRODUCCIÓN

La provincia de Camagüey se ha caracterizado por el desarrollo de la actividad agropecuaria, fundamentalmente la rama ganadera, desde siglos anteriores. La existencia de un terreno llano, caracterizado por la presencia de terrazas marinas con varios niveles (Faloh *et al.*, 1989) favorece el desarrollo de esta actividad en la provincia. El avance del Programa Ganadero en el territorio requirió de la realización de numerosas transfor-

simultaneous to deforestation works and land use changes in many municipalities by the 80s.

The present research aims to show the application of tools such as remote sensing and GIS in land management, analyzing from the space-time dynamics perspective of their use, for Jimaguayú Municipality during the period 1977-2012. That information was used in the environmental management model and the territorial planning process. As part of the research, the influence of the land use change in the agricultural development of the municipality is also identified; as well as, deforested areas during this period. The lack of land use information for 1986, offered the opportunity of using remote sensing to obtain the corresponding cartography. The GIS use in the spatio-temporal dynamics analysis allowed identifying problems in the agro-productive sector of the territory that still persist today.

In Cuba, GIS are widely used as analysis tools in environmental studies. The participatory mapping techniques, used by several authors such as Chapin *et al.* (2005), have been used in our province to capture primary information during the development of other studies such as hazard, vulnerability and risk (Montero *et al.*, 2013). Currently, work is being done on the incorporation of participatory GIS in the mapping land use tasks, in order to improve the results.

Other authors such as Uriarte *et al.* (2009) link GIS and remote sensing for the land use mapping with archaeological purposes.

In Camagüey Province, the remote sensing use as a tool for land use mapping is something new, attributed to this study. In Cuba, there is a background of researches carried out by the Tropical Geography Institute that links remote sensing and land use mapping. (Tamarit, 2006; Reyes, 2010; Ponvert & Lau, 2013; Colina *et al.*, 2016; Marmol *et al.*, 2016).

Jimaguayú Municipality, as part of BASAL project development (Environmental Bases for Local Food Sustainability) in the province was selected; taking into account its economic specialization, as a target of the project to apply strategies that allow the improvement and conservation of the soil before any type of use, in order to restore or maintain its agro productivity, by promoting good practices of land sustainable management (Primelles *et al.*, 2015). This condition, which distinguishes Jimaguayú from the other province municipalities, allows it to be selected as a study area for land management, based on the analysis of the space-time dynamics of use.

Jimaguayú Municipality has 783.43 km² as surface area and 20 581 inhabitants as population distributed into six popular districts that cover urban and rural areas. Population density reaches 26.3 inhabitants per km² (ONEI, 2016). Geographically, the municipality is located between 21° 05' 00" and 21° 22' 00" North latitude and 77° 36' 00" and 78° 03' 00" of west longitude. It limits to the north with Camagüey Municipality; to the east with Sibanicú Municipality; to the west with Vertientes and Camagüey Municipalities, and to the south with the Najasa Municipality (Figure 1).

maciones, aparejado a trabajos de deforestación y cambios de uso de la tierra en muchos municipios, alrededor de los años 80.

El presente estudio tiene como objetivo mostrar la aplicación de herramientas como la teledetección y los SIG en el manejo de tierras, analizado desde la perspectiva de la dinámica espacio-temporal de su uso, para el municipio Jimaguayú durante el período 1977-2012, información utilizada en el modelo de ordenamiento ambiental (MOA) y el proceso de planificación territorial. Como parte del estudio se identifica además, la influencia del cambio de uso de la tierra en el desarrollo agropecuario del municipio; así como las áreas deforestadas durante este período. La ausencia de información relacionada con el uso de la tierra para el año 1986, brinda la posibilidad del empleo de la teledetección para la obtención de la cartografía correspondiente. El empleo del SIG en el análisis de la dinámica espacio-temporal permitió identificar problemas en el sector agroproductivo del territorio que aún persisten en nuestros días.

En Cuba, los SIG son ampliamente utilizados como herramientas de análisis en los estudios ambientales. El uso de técnicas como el mapeo participativo, empleado por varios autores como Chapin *et al.* (2005), han sido utilizadas en nuestra provincia para la captura de información primaria durante el desarrollo de otros estudios como los de peligro, vulnerabilidad y riesgo (Montero *et al.*, 2013). Actualmente se trabaja en la incorporación del SIG participativo en las tareas de mapeo de uso de la tierra, con el fin de perfeccionar los resultados.

Otros autores como Uriarte *et al.* (2009) vinculan los SIG y la teledetección para el mapeo del uso de suelo con fines arqueológicos.

En la provincia de Camagüey, el empleo de la teledetección como herramienta para la cartografía del uso de la tierra, es algo novedoso atribuido a este estudio. En Cuba, existen antecedentes de investigaciones ejecutadas por el Instituto de Geografía Tropical que vinculan la teledetección y el mapeo del uso de la tierra (Tamarit, 2006; Reyes, 2010; Ponvert & Lau, 2013; Colina *et al.*, 2016; Marmol *et al.*, 2016).

Como parte del desarrollo del proyecto BASAL (Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local) en la provincia, el municipio Jimaguayú fue seleccionado, teniendo en cuenta su especialización económica, como objeto de trabajo del proyecto para aplicar estrategias que permitan el mejoramiento y conservación de los suelos ante cualquier tipo de uso, con el fin de restaurar o mantener su agroproductividad, promoviendo las buenas prácticas de manejo sostenible de tierras (Primelles *et al.*, 2015). Esta condición que lo distingue de los otros municipios de la provincia, permite que el mismo sea seleccionado como área de estudio para el manejo de tierras, basado en el análisis de la dinámica espacio-temporal del uso.

El municipio Jimaguayú posee una extensión superficial de 783.43 km² y una población de 20 581 habitantes distribuidos en seis consejos populares que abarcan zonas urbanas y rurales. La densidad de población alcanza 26.3 habitantes por km² (ONEI, 2016). Geográficamente, el municipio se encuentra situado entre los 21° 05' 00" y 21° 22' 00" de latitud norte y los 77° 36' 00" y 78° 03' 00" de longitud oeste y limita al norte con el municipio Camagüey; al este con el municipio Sibanicú; al oeste con los municipios Vertientes y Camagüey y al sur con el municipio Najasa (Figura 1).

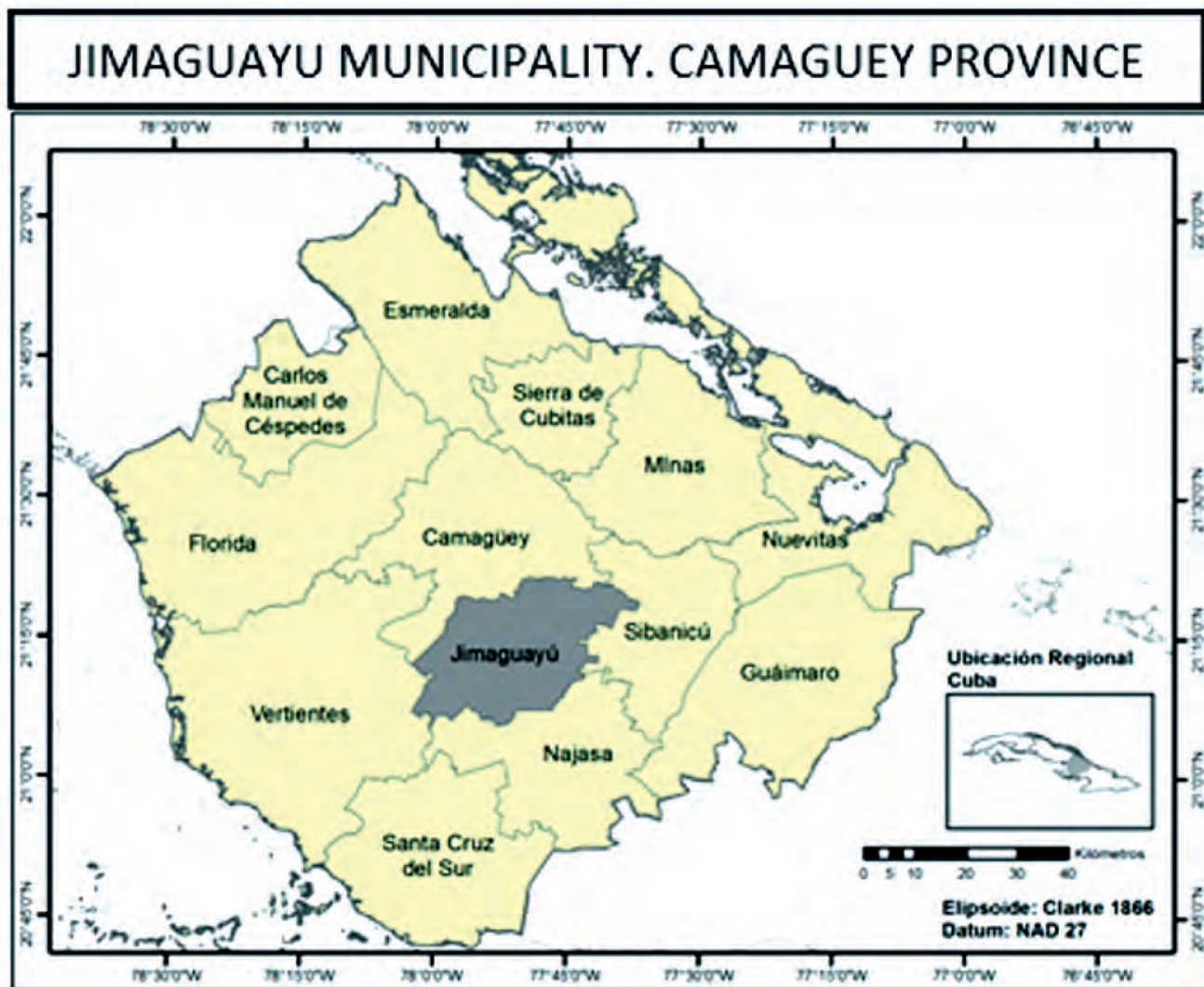


FIGURE 1. Geographical location map of the study area.
 FIGURA 1. Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

METHODS

In this study, the agricultural development of Jimaguayú Municipality is analyzed based on the influence of the land use change for the period 1977-2012. Taking into account that previous information of the municipality land use map during the period 1977-1986 did not exist, it was necessary to use other tools such as remote sensing and digitization to obtain the corresponding land use maps. Geographic Information Systems (GIS) were used in the space-time dynamics analysis for the period studied. During the investigation the following materials were used: municipality topographic map at scale of 1: 50 000 corresponding to 1977, LANDSAT image (LAND= land y SAT= Satellite) 5TM taken on February 24th, 1986 and the land use map of 2012 obtained given by the Physical Planning Provincial Department (DPPF).

The research was developed in three stages; which are contained into the following flow chart (Figure 2).

MÉTODOS

En este estudio el desarrollo agropecuario de municipio Jimaguayú es analizado tomando como base la influencia ejercida en el cambio de uso de la tierra para el período 1977-2012. Teniendo en cuenta que el período 1977-1986 no existía información previa del mapa de uso de suelo del municipio, se hizo necesario el empleo de otras herramientas como la teledetección y la digitalización para la obtención de los mapas de uso de suelo correspondientes. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) fueron utilizados en el análisis de la dinámica espacio-temporal para el período estudiado. Durante la investigación se emplearon como materiales principales las hojas topográficas del municipio a escala 1: 50 000 correspondiente al año 1977, imágenes LANDSAT (LAND=tierra y SAT= Satélite) 5 TM tomadas el 24 de febrero de 1986 y el mapa de uso de la tierra correspondiente al año 2012; este último obtenido a través de la Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF).

El trabajo fue desarrollado en tres etapas; las cuales aparecen contenidas en el siguiente diagrama de flujo (Figura 2).

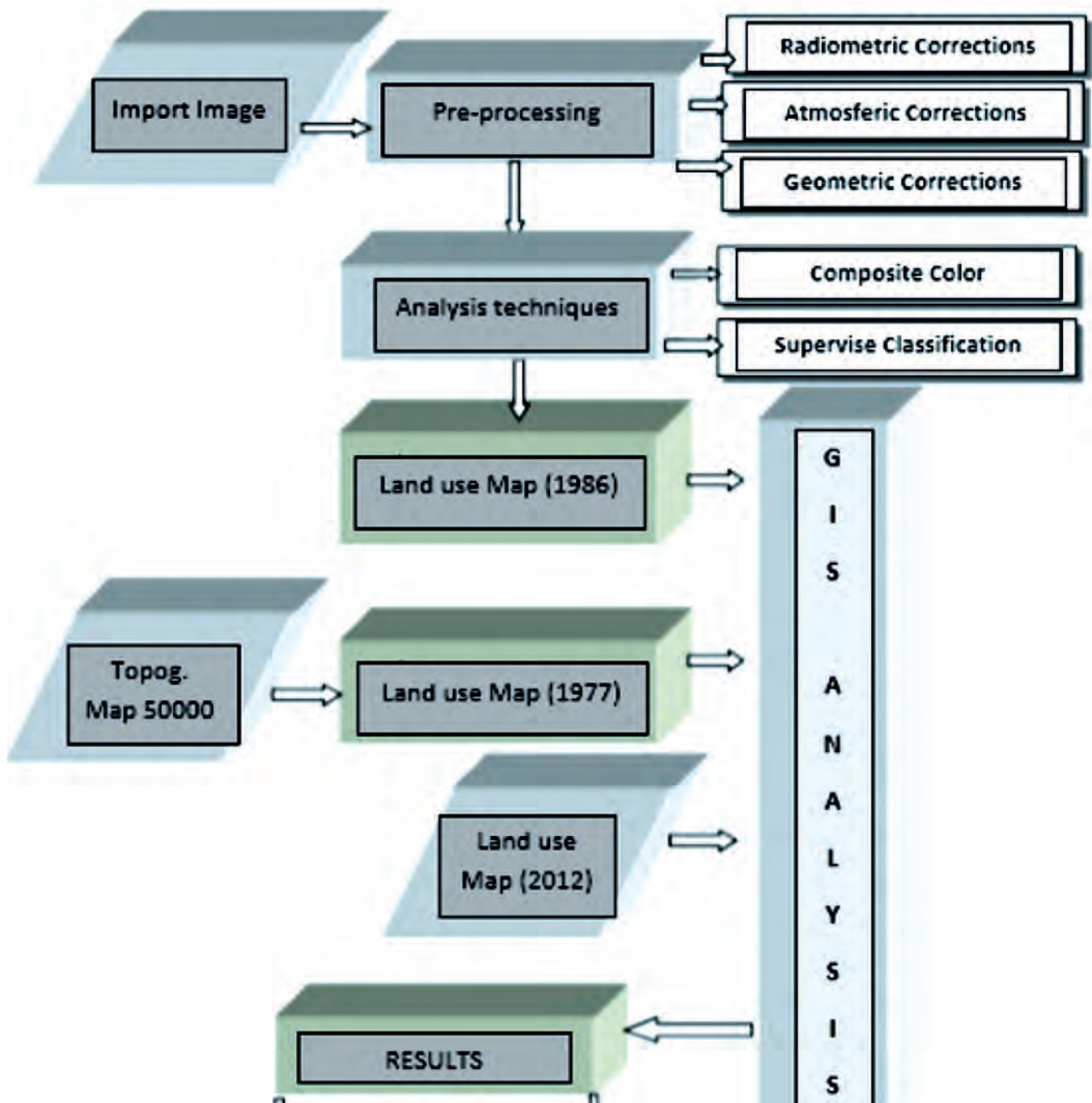


FIGURE 2. Research Stages
 FIGURA 2. Etapas de trabajo.

The first stage is related to the preparation of stellite images During the digital pre-processing, atmospheric and radiometric corrections of the Landsat 5 TM images (30 m resolution) were made using the calibration parameters of each image (sun elevation angle and minimum and maximum radiance values of each band). For the atmospheric corrections the subtraction of dark pixels method or Chavez’s method was used (Sadeck & Rodríguez, 2005). of dark pixels method or Chavez’s method was used (Sadeck & Rodríguez, 2005).

La primera etapa de trabajo se encuentra relacionada con la preparación de las imágenes satelitales. Durante el pre-procesamiento digital, las correcciones atmosféricas y radiométricas de las imágenes Landsat 5 TM (30 m de resolución), se realizaron utilizando los parámetros de calibración de cada imagen (ángulo de elevación del sol, valores de radianza mínimos y máximos de cada banda). Para las correcciones atmosféricas se empleó el método de sustracción de los píxeles oscuros o método de Chávez (Sadeck y Rodríguez, 2005). Las correcciones geométricas se realizaron empleando el ILWIS 3.3. La georeferenciación se realizó a través del proceso de registro de imagen

For the atmospheric corrections the subtraction of dark pixels method or Chavez's method was used (Sadeck & Rodríguez, 2005). The geometric corrections were made using the ILWIS 3.3. The georeference process was carried out through the image-to-image registration process. For the image resample, the nearest neighbor method was used, taking into account that the shortest distance is considered, that is the value of the closest point.

The second stage included the digital images processing. Analysis techniques like the composite color and supervised classification were used. For the vegetation differentiation, 4-3-2 and 3-2-1 combinations were used (Environment Geography General Directorate, 2014). The supervised classification was done with the use of Sample Set tool, where several pixels were sampled for each land use type, based on field samples acquired in previous studies. The Maximum Likelihood as classification method was used (Westen & Farifteh, 2001). On the other hand, the land use map of 1977 was obtained from the digitization process of the municipality topographic map at scale of 1: 50 000.

The third stage was focused on the use of GIS techniques for the spatio-temporal analysis of land use maps in Jimaguayu Municipality. As analysis techniques, the superposition operations with several layers and maps mathematical operations for the vector model were used (Klee, 2010). Finally, the deforested areas during the land use change process and the new reforested areas in 2012 were determined.

RESULTS AND DISCUSSION

As result, the land use maps for 1977 and 1986 were obtained. It is shown in Figure 3, the spatial distribution of the different land uses in Jimaguayu Municipality, during 1986. This map was obtained as result of the digital processing of Landsat 5 TM images, with 30 m resolution.

The land use map analysis corresponding to 1986 shows that during this year, the largest areas of land belonged to natural pastures in Jimaguayu Municipality; which occupied 556,17 km², representing 70.7% of the entire territory. They were followed by unproductive lands with 116.76 km², occupying 14.84% of the municipality. The forest areas with 80.98 km² of natural forests (10.3%), were located close to the damming, rivers and next to the villages. Among pasture areas only those congregate were identified. Crops such as sugarcane occupied 9.71 km², constituting 1.23% of the municipality. On the other hand, forest plantations and fruit trees occupied very small areas such as 4.29 km² (0.55%) and 3.67 km² (0.47%), respectively. The water surface, represented by areas greater than 1.5 ha, occupied 12.85 km², constituting 1.6% of the municipality area. The

a imagen. Para el resample de la imagen fue utilizado el método del vecino más cercano, teniendo en cuenta que se considera la distancia más corta, es decir el valor del punto más cercano.

La segunda etapa comprendió el procesamiento digital de las imágenes. Como técnicas de análisis fueron empleadas: el color compuesto y la clasificación supervisada. Para la diferenciación de la vegetación fueron empleada las combinaciones: 4-3-2 y 3-2-1 (Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, 2014). La clasificación supervisada se realizó con el empleo de la herramienta Sample Set, donde numerosos pixeles fueron muestreados para cada tipo de uso de la tierra, tomando como base las muestras de campos adquiridas en estudios previos. Como método de clasificación se empleó el Maximum Likelihood (Westen y Farifteh, 2001). Por otro lado, el mapa de uso de la tierra de 1977 se obtuvo a partir del proceso de digitalización de las hojas topográficas del municipio a escala 1: 50 000.

La tercera etapa de trabajo estuvo centrada en el uso de las técnicas de los SIG para el análisis espacio-temporal de los mapas de uso de la tierra en el municipio Jimaguayú. Como técnicas de análisis se emplearon para el modelo vectorial las operaciones de superposición con varias capas y operaciones matemáticas con los mapas (Klee, 2010). Finalmente, fueron identificadas las áreas deforestadas durante el proceso de cambio de uso de la tierra y las nuevas áreas reforestadas existentes en el año 2012.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado fueron obtenidos los mapas de uso de la tierra correspondientes a los años 1977 y 1986. La Figura. 3 muestra la distribución espacial para los diferentes usos de tierra en el municipio de Jimaguayú, durante el año 1986. Este mapa se obtuvo como resultado del procesamiento digital de las imágenes Landsat 5 TM, de 30 m de resolución.

El análisis del mapa de uso de la tierra correspondiente al año 1986 muestra que durante ese año en el municipio Jimaguayú las mayores extensiones de tierra pertenecían a los pastos naturales; los cuales ocupaban 556,17 km², representando el 70,7% de todo el territorio. Seguidamente se encontraban las tierras ociosas o no cultivadas con 116,76 km², ocupando un 14,84% del municipio. Las superficies forestales con 80,98 km² de bosques naturales (10,3%), se localizaban en los alrededores de los embalses, ríos y cercanía de los poblados; entre las áreas de pastos fueron identificados solamente los que aparecen congregados. Cultivos como la caña de azúcar ocupaban 9,71 km², constituyendo el 1,23% del municipio. Por otro lado las plantaciones forestales y los frutales ocupaban áreas muy pequeñas de 4,29 km² (0,55%) y 3,67 km² (0,47%) respectivamente. La superficie acuosa, representada por áreas superiores a 1,5 ha, ocupaba un área de 12,85 km², constituyendo el 1,6% del área del municipio. La existencia de una resolución espacial no apropiada para delimitar los pequeños asentamientos, así como la continuidad de los tramos de carreteras que podrían ser enmascarados por la vegetación, imposibilitaron un estudio más detallado de estos usos.

Con el objetivo de unificar las clases existentes en el mapa de 1986, con las existentes en los mapas de uso de la tierra de los años 1977 y 2012, una nueva clasificación fue creada. Para la identificación de las clases de uso de la tierra en las hojas cartográficas de 1977, fue utilizado el manual de símbolos convencionales (1982). Para el análisis de la hidrografía solo se consideraron las

existence of an inadequate spatial resolution to delimit the small settlements, as well as the continuity of the stretches roads covered by vegetation, made impossible to achieve a more detailed study of these uses.

With the objective of unifying the existing classes on the map of 1986, with the classes existing in the land use maps of the 1977 and 2012, a new classification was created. For the identification of land use classes in the cartographic map of 1977, the manual of conventional symbols was used (1982). For the hydrography analysis, only the dams whose areas exceeded 1.5 ha were considered, so that they could be delimited easy in the satellite images used, defined as water surface. Finally, the land use map of 1977 is shown in the Figure. 4.

In the land use map of 1977, a predominance of natural pastures throughout the municipality is shown, that occupy 614.56 km², which represented 78.1% of the entire area. Surfaces with natural forests occupy an area of 70.02 km², representing 8.9%. Unproductive lands, covered an area of 68.89 km², constituting 8.76% of the land. Sugarcane occupied 13.75 km², constituting 1.75% of the municipality. On the other hand, forest plantations and fruit trees occupied very small areas of 4.89 km² (0.62%) and 4.14 km² (0.52%), respectively. Water surface, represented by areas exceeding 1.5 ha, occupied an area of 10.45 km², constituting 1.3% of the municipality area.

On the other hand, a previous compilation work of the land use classes for the map corresponding to 2012 was carried out. Classes previously named as natural pastures, pastures and forages, temporary forages, pastures and cultivated forages, pastures and uncultivated forages were classified as natural pastures. Fruit trees like banana, rice, citrus, coffee, various crops and permanent crops were grouped within the fruit class. The areas of natural forests and sugarcane were maintained with this classification. The uncultivated land class was created by compiling bare soil, deforested, unsuitable surface and uncultivated areas. Natural water classes and reservoirs were included within the water surface class. The areas occupied by forest plantations were included within the natural forest areas, according to the class created by the DPPF. Other classes such as infrastructures and settlement surface were also created. Within the class of infrastructures surface were included: channels, public railways, industrial railroads, highways, roads of specific interest, other infrastructures like educational, recreational tourist, surface of support to the agricultural facilities, industrial surface, livestock production surface and surfaces occupied by rubbish dump. The area occupied by urban and rural classes, formed the settlements class. The absence of an appropriate spatial resolution

presas cuya áreas superaba las 1,5 ha, de modo que pudieran ser bien delimitadas en las imágenes satelitales empleadas; siendo definidas como superficie acuosa. Finalmente el mapa de uso de la tierra de 1977 es mostrado en la Figura. 4.

El mapa de uso de la tierra de 1977 muestra un predominio de los pastos naturales en todo el municipio, llegando a ocupar estos 614,56 km², lo que representaba el 78,1% de la totalidad del área. Seguidamente se encontraban las superficies con bosques naturales ocupando un área de 70,02 km², representando el 8,9%. Las tierras ociosas o desoladas, abarcaban un área de 68,89 km², constituyendo el 8,76% del terreno. La caña de azúcar ocupaba 13,75 km², constituyendo el 1,75% del municipio. Por otro lado las plantaciones forestales y los frutales ocupaban áreas muy pequeñas de 4,89 km² (0,62%) y 4,14 km² (0,52%) respectivamente. La superficie acuosa, representada por áreas superiores a 1,5 ha, ocupaba un área de 10,45 km², constituyendo el 1,3% del área del municipio.

Por otro lado, un trabajo previo de compilación de las clases de uso de la tierra para el mapa 2012, fue llevado a cabo. Las clases previamente denominadas como: los pastos naturales, pastos y forrajes, forrajes temporales, pastos y forrajes cultivados, pastos y forrajes no cultivados fueron clasificadas como pastos naturales. Los frutales, plátano, arroz, cítricos, café, cultivos varios y cultivos permanentes fueron agrupados dentro de la clase frutales. Las áreas de bosques naturales y cañas de azúcar fueron mantenidas con esa clasificación. La clase de tierra ociosa o desolada fue creada mediante la compilación de las áreas de superficie ociosa, deforestadas, no aptas y superficies no cultivadas. Las clases hídrica natural y embalses fueron incluidas dentro de la clase superficie acuosa. Las áreas ocupadas por plantaciones forestales fueron incluidas dentro de las áreas de bosques naturales, según la clase creada por la DPPF. Otras clases tales como superficie de infraestructuras y asentamiento también fueron creadas. Dentro de la clase de superficie de infraestructuras fueron incluidas: canales, Ferrocarriles Público, ferrocarriles Industrial (cañeros), carreteras, vías de interés específico, otras instalaciones, educacionales, turística recreativa, superficie de apoyo a las instalaciones agrícolas, superficie de instalaciones industriales, superficie de producción pecuaria y superficies ocupadas por vertederos. La superficie ocupada por la clase urbana y rural, conformaron la clase de asentamientos. La ausencia de una resolución espacial apropiada para estos estudios, no permitió incluir las clases de superficie de infraestructura y la clase de asentamientos en la etapa de análisis de los mapas.

El mapa final de uso de la tierra del 2012 (Figura. 5) muestra a la clase tierra ociosa ocupando las mayores extensiones, con un área de 331,14 km², esto representa el 42,4% del municipio. Por otro lado, los pastos naturales abarcan un área de 311,47 km² constituyendo el 39,6%. Los bosques naturales representan un 5,31% del área municipio, ocupando un área de 41,81 km². Las clases de frutales y cañas de azúcar abarcan áreas menores, 38,3 km² (4,9%) y 16,82 km² (2,1%) respectivamente. La superficie acuosa ocupa 18,06 km², lo que representa el 2,3% del área del municipio.

Discusión de los resultados

El análisis de los mapas de uso de la tierra de 1977 y 1986, refleja que durante esos años las tierras en el municipio Jimaguayú estaban ocupadas principalmente por pastos naturales, lo que favorecía grandemente el desarrollo pecuario del municipio, fundamentalmente de la rama ganadera. El decrecimiento de estas áreas hacia 1986, provocó

for this research did not allow including the infrastructure and settlements classes into the maps analysis stage.

The final map of land use in 2012 (Figure 5) shows the unproductive land class occupying the largest areas (331.14 km²) that represent 42.4% of the municipality. On the other hand, natural pastures cover 311.47 km², constituting 39.6%. Natural forests represent 5.31% of the municipality area, occupying 41.81 km². Fruit trees and sugarcane classes cover smaller areas, 38.3 km² (4.9%) and 16.82 km² (2.1%), respectively. The water surface occupies 18.06 km², which represents 2.3% of the municipality area.

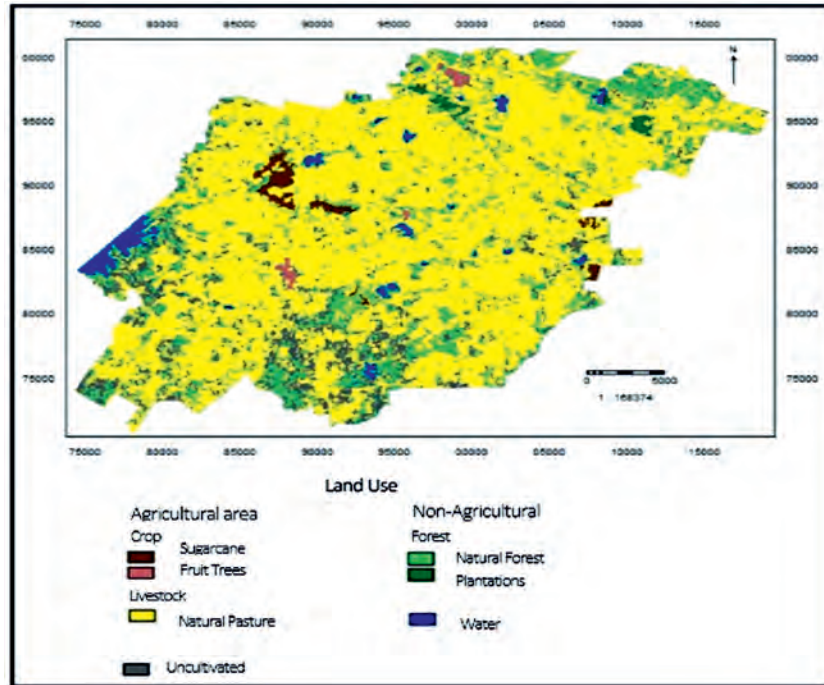


FIGURE 3. Land use map of Jimaguayu Municipality, 1986.
 FIGURA 3. Mapa de uso de la tierra de 1986, municipio Jimaguayú.

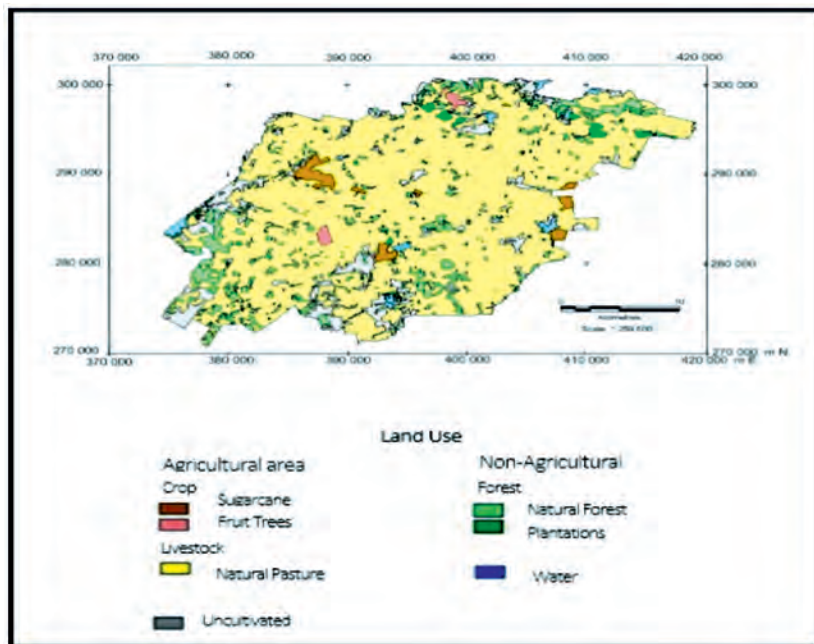


FIGURE 4. Land use map of Jimaguayu Municipality, 1977.
 FIGURA 4. Mapa de uso de la tierra de 1977, municipio Jimaguayú.

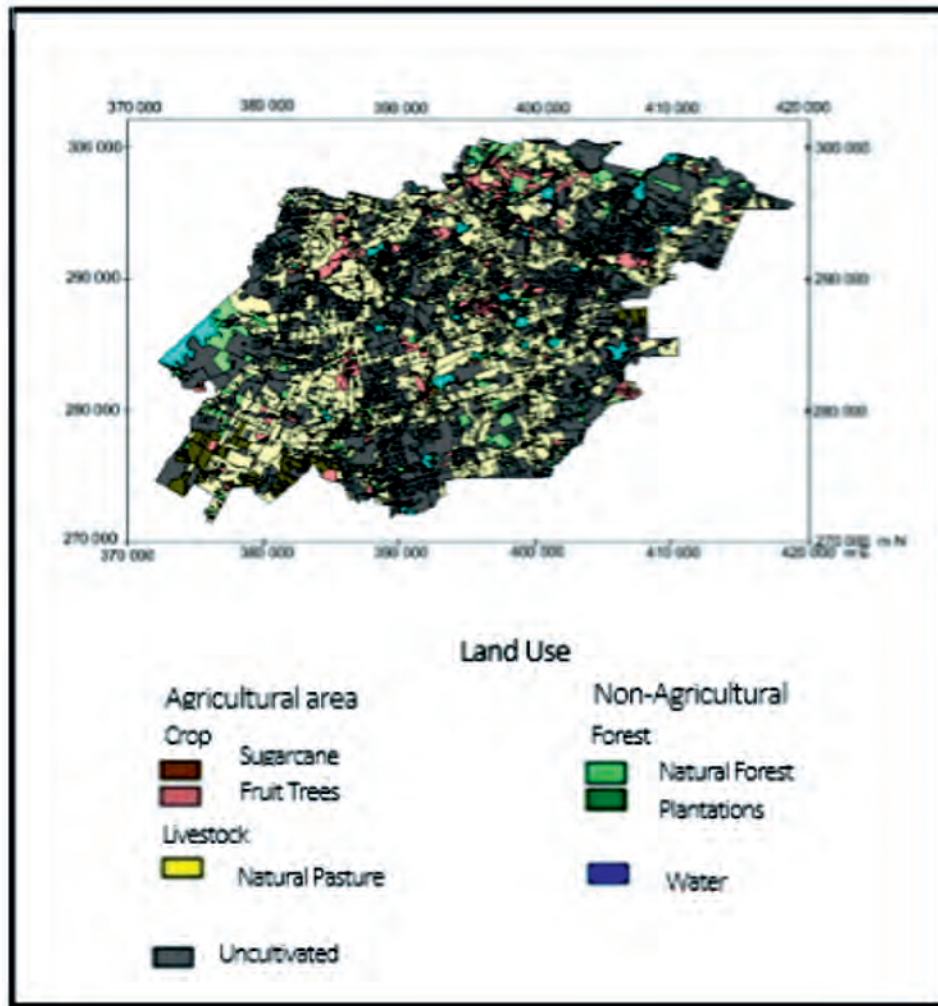


FIGURE 5. Land use map of Jimaguayu municipality, 2012.
 FIGURA 5. Mapa de uso de la tierra del 2012, municipio Jimaguayú.

Discussion of Results

The land use maps analysis corresponding to 1977 and 1986, reflects that during those years, lands in Jimaguayu Municipality were occupied mainly by natural pastures, which greatly favored the livestock municipality development, mainly of the livestock branch. The decreasing of these areas towards 1986, caused that 58.0 km² of land previously used as natural pastures with cattle purposes, become into uncultivated lands after the land use change. On the other hand, sugarcane areas, forest plantations and fruit trees, showed a similar tendency, with slight decreases to 4.04 km², 0.60 km² and 0.47 km², respectively. That affected the agricultural sector. However, a significant increase occurred in the uncultivated areas for 1986, reaching 47.87 km². This allowed the appearance of numerous problems within the

que 58,0 km² que eran usados como pastos naturales, con fines ganaderos fueran utilizados con otro objetivo al ocurrir un cambio en el uso de la tierra, pasando a convertirse en tierras no cultivadas. Por otro lado, las áreas ocupadas por caña de azúcar, plantaciones forestales y frutales, mostraban similar tendencia, con ligeros decrecimientos de 4,04 km², 0,60 km² y 0,47 km² respectivamente, lo que provocaba afectaciones en el sector agrario. Sin embargo, un incremento significativo ocurrió en las áreas de las tierras no cultivadas, para 1986, llegando a alcanzar los 47,87 km². Esto permitió el surgimiento de numerosos problemas dentro del sector agropecuario en el municipio, entre los que se destacan el desaprovechamiento del recurso tierra y la baja productividad. Finalmente, un ligero incremento en las áreas ocupadas por superficies acuosas es determinado (2,40 km²). Esto se debió a la especial atención que brindaba el país en esos años para el incremento de las presas y micropresas, con el fin de garantizaría el desarrollo

agricultural sector in the municipality like loss of land resources, overgrazing of areas, compaction of soils, low productivity, etc. Finally, a slight increase in the areas occupied by water surfaces is determined (2.40 km²) and it was due to the special attention the country offered those years to increase dams and micro-dams in order to guarantee the province agricultural development.

An analysis of the value obtained for natural forest areas showed that its increase was associated with two fundamental causes. The first one was related to the pixel resolution; during the classification process, the forest class is assigned to the entire pixel area (30 m). The second cause corresponds to the lack of established limits for young forests and spaced forests areas; these limits were established according to the author's criteria.

The comparison between the land use maps of 1986 and 2012 shows significant changes in municipality land use. The natural pastures continue showing a decrease tendency, reaching a reduction in 244,7 km², which led to the concentration of livestock in smaller areas and to areas overgrazed, causing greater soil compaction and erosion, as well as a lesser use of the land surface. By 2012, around 39.0 km² of forests had disappeared. On the other hand, the uncultivated lands had occupied more than 214 km².

The design of new productive strategies allowed the sugarcane areas to increase in 7.1 km²; what favored the increase of the cattle feeding sources. The fruit trees showed a significant increase in 35,0 km² with new areas occupied by banana, rice, citrus, coffee and others and that positively influenced local agrarian development. The water surfaces continue to show an increase (5,21 km²) in the areas, due to the increase of agricultural activity in the municipality, which required the creation of new micro dams and canals.

A comparative analysis of the natural forests areas, during the period 1977-2012, allowed to determine the areas that were deforested. Figure 6 reflects the forests spatial distribution corresponding to the study period. The largest forest areas show a similar distribution, with the largest accumulations toward the south, southwest and northeast of the municipality. The highest concentrations located toward the south and southwest correspond to the hydroregulating fringes, located around the reservoirs and rivers. On the other hand, towards the northeast, the largest areas correspond to the existing forests in the Sierra de Maraguan surroundings.

A detailed analysis of the previous figure shows, that in 2012 only about 16.03 km² of the natural forest areas existing during 1977, were conserved. Therefore, about 53 km² of natural forests had disappeared. However, during 2012, new forest areas are obtained; which represent 50% of the total lost areas. In Figure 7 it is shown the spatial distribution of the new reforested areas. These are located mainly towards the central part of the municipality, corresponding mainly to the hydroregulating fringes located in the surroundings of rivers, streams and some reservoirs.

agropecuario de las provincias.

Un análisis del valor obtenido para las áreas de bosques naturales arrojó que su incremento estaba asociado a dos causas fundamentales. La primera estaba relacionada con la resolución del pixel; durante el proceso de clasificación, la clase de bosque le es asignada a toda el área (30 m) ocupados por el pixel. La segunda causa se corresponde con la inexistencia de los límites establecidos para las áreas de bosques jóvenes y bosques espaciados; estos fueron establecidos a criterios del autor.

La comparación entre los mapas de uso de la tierra de 1986 y 2012 arroja cambios significativos en cuanto al uso de la tierra en el municipio. Los pastos naturales continúan mostrando tendencia al decrecimiento, llegándose a reducir en 244,7 km², lo que conducía a la concentración del ganado en áreas más pequeñas, el sobrepastoreo de las áreas, provocando así una mayor compactación y erosión de los suelos, además de un menor aprovechamiento de la superficie terrestre. Hacia el año 2012, alrededor de 39,0 km² de bosques habían desaparecidos. Por otro lado, las tierras no cultivadas habían ocupado más de 214,0 km².

El diseño de nuevas estrategias productivas permitió que las áreas ocupadas por caña de azúcar se incrementaron en 7,11 km²; lo que favorecía el incremento de las fuentes de alimentación para el ganado. Los frutales mostraban un significativo incremento de 35,0 km² con nuevas áreas ocupadas por plátano, arroz, cítricos, café y otros; influyendo de forma positiva en el desarrollo agrario local. Las superficies acuosas continúan mostrando un incremento (5,21 km²) en las áreas, debido al aumento en el municipio de la actividad agrícola, lo que requirió de la creación de nuevas micro presas y canales.

Un análisis comparativo de las áreas ocupadas por bosques naturales, durante el período 1977-2012, permitió determinar las áreas que fueron deforestadas. La Figura 6 refleja la distribución espacial de los bosques correspondientes al período de estudio. Las mayores áreas de bosques muestran similar distribución, encontrándose las mayores acumulaciones hacia la parte sur, suroeste y noreste del municipio. Las mayores concentraciones localizadas hacia el sur y suroeste se corresponden con las franjas hidrorreguladoras localizadas en los alrededores de los embalses y ríos. Por otro lado, hacia la parte noreste, las mayores áreas se corresponden con los bosques existentes en la cercanía de la Sierra de Maraguan.

Un análisis detallado de la figura anterior muestra, durante el año 2012 alrededor de 16.03 km² de áreas de bosques naturales, existentes durante el año 1977, estaban conservadas. Por lo tanto, cerca de 53 km² de bosques naturales habían desaparecido. Sin embargo, durante el año 2012, nuevas áreas de bosques son obtenidas; las cuales representan el 50% del total de las áreas perdidas. La Figura 7 muestra la distribución espacial de las nuevas áreas reforestadas. Estas se localizan fundamentalmente hacia la parte central del municipio, correspondiéndose principalmente con las franjas hidrorreguladoras ubicadas en los alrededores de los ríos, arroyos y algunos embalses.

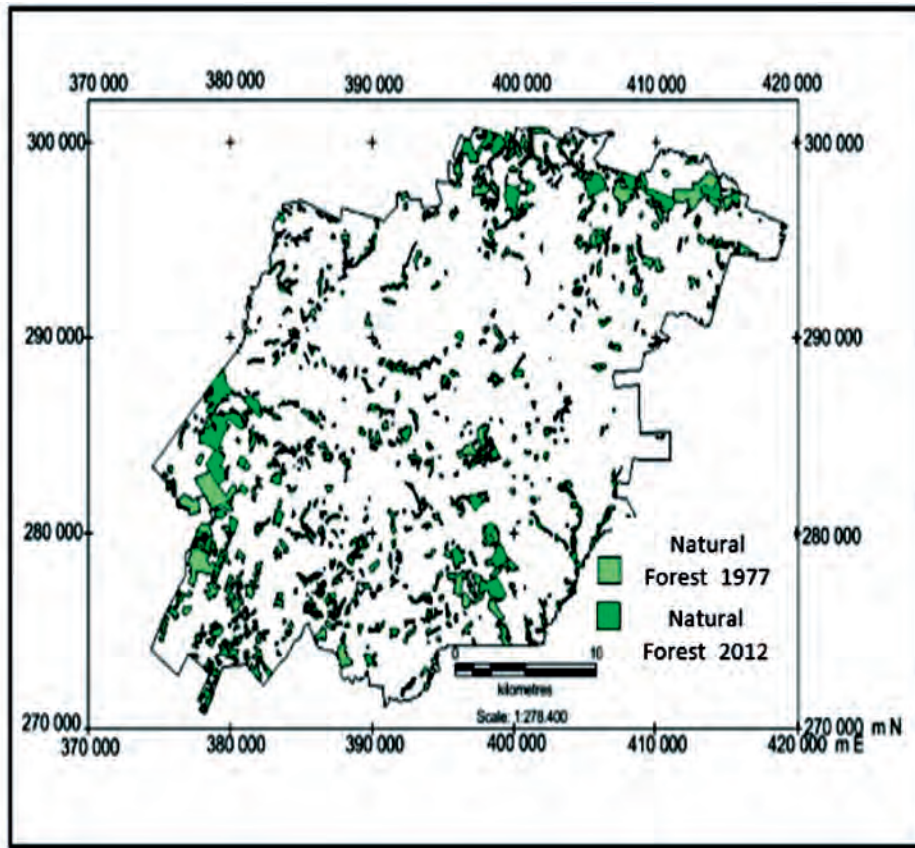


FIGURE 6. Natural forests areas existing during 1977 and 2012.
FIGURA 6. Áreas de bosques naturales existentes durante los años 1977 y 2012.

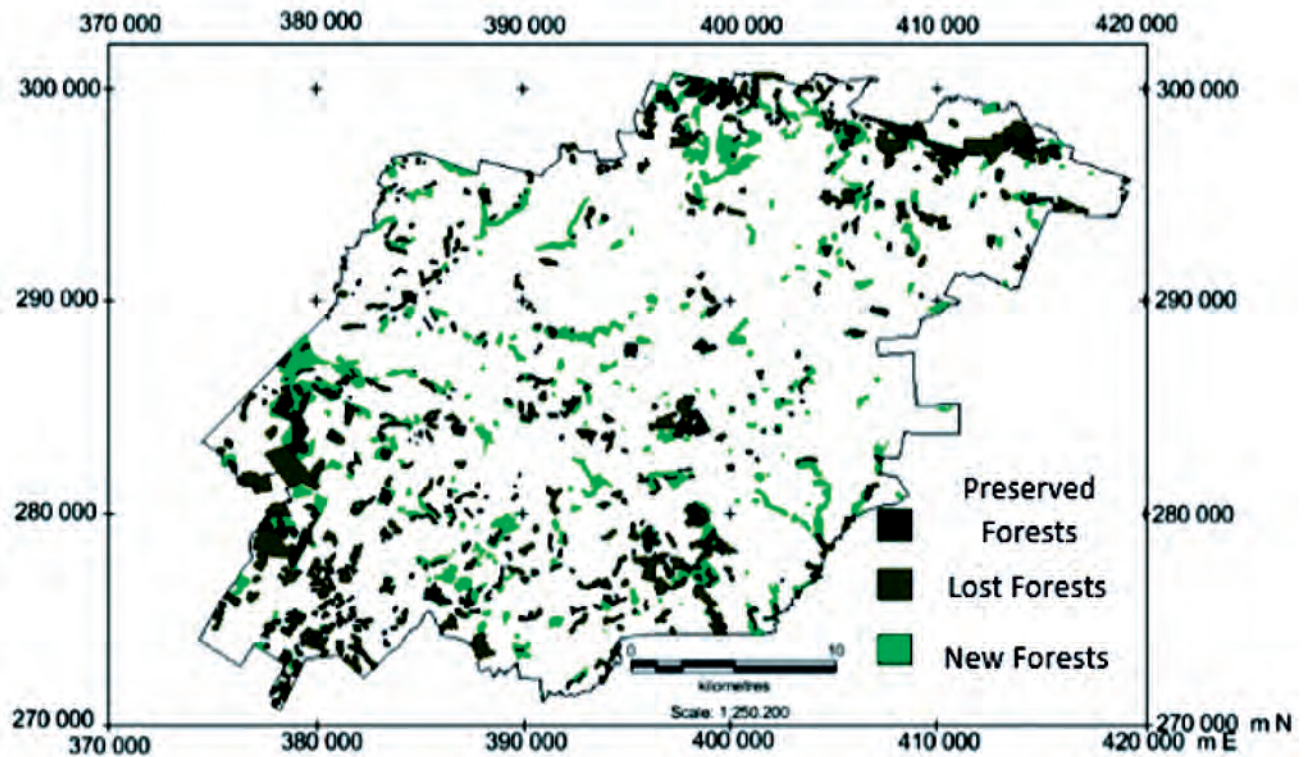


FIGURE 7. Natural forests areas belonging to 1977 and conserved during 2012. Natural forests disappeared before 2012. New forest areas existing in 2012.
FIGURA 7. Áreas de bosques naturales pertenecientes a 1977 y conservados durante el 2012. Bosques naturales desaparecidos antes del 2012. Nuevas áreas de bosques existentes en el año 2012.

CONCLUSIONS

- The results show that remote sensing and GIS constitute powerful tools that can be used in the spatio-temporal dynamics analysis of land use, facilitating the decision-making process, which guarantees an adequate territorial planning in the municipality agroproductive development. The study also shows that changes in land use during 1977-2012 period affected, in many cases, negatively in the agricultural development of Jimaguayu Municipality. The main changes are detailed below:
- During 1977 and 1986, the lands in Jimaguayu Municipality were occupied mainly by natural pastures; with a decrease tendency towards 2012.
- There is an increase in the number of uncultivated areas; which came to represent 42.4% of the entire municipality, during 2012.
- Natural forests show a decrease tendency. By 2012, around 53 km² of the natural forests existing in 2007 had disappeared.
- 50% of the disappeared forests areas were reforested, during 2012. These correspond mainly to the hydroregulating strips located in the surroundings of rivers, streams and some reservoirs.
- Areas covered with sugarcane showed a slight increase of 3.07 km², towards 2012.
- Fruit trees show a considerable increase (34.3 km²) towards 2012; new areas were used in the planting of plantain, rice, citrus, coffee and others.
- The water surface areas show an increase from 1986, which was associated with channels and micro-dams construction to guarantee agricultural development.

CONCLUSIONES

- Los resultados muestran que la teledetección y los SIG constituyen poderosas herramientas de trabajo que pueden ser utilizadas en el análisis de la dinámica espacio-temporal del uso de la tierra, facilitando el proceso de toma de decisiones, lo que garantiza una adecuada planificación territorial en el desarrollo agroproductivo del municipio. El estudio muestra además, que los cambios de uso de la tierra ocurridos durante el período 1977-2012 repercutieron, en muchos casos, de forma negativa en el desarrollo agropecuario del municipio Jimaguayú. Los principales cambios son detallados a continuación:
- Durante los años 1977 y 1986 las tierras en el municipio Jimaguayú estaban ocupadas principalmente por pastos naturales; con tendencia a decrecer hacia el año 2012.
- Existe un incremento en el número de áreas ocupadas por tierras no cultivadas; las cuales llegaron a representar el 42,4% de la totalidad del municipio durante el año 2012.
- Los bosques naturales muestran tendencia al decrecimiento. Hacia el año 2012, alrededor de 53 km² de los bosques naturales existentes en el 2007, habían desaparecido.
- En el año 2012, fueron reforestadas el 50% del total de áreas de bosques desaparecidas. Estas se corresponden principalmente con las franjas hidroreguladoras ubicadas en los alrededores de los ríos, arroyos y algunos embalses.
- Las áreas cubiertas de caña de azúcar mostraban un ligero incremento de 3,07 km², hacia el año 2012.
- Los frutales presentan un incremento considerable (34,3 km²) hacia el 2012; nuevas áreas fueron utilizadas en la siembra de plátano, arroz, cítricos, café y otros.
- Las áreas que representan las superficies acuosas muestran un incremento a partir de 1986, lo cual estaba asociado a la construcción de canales y micropresas para garantizar el desarrollo agropecuario.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAPIN, M.; LAMB, Z.; THRELKELD, B.: "Mapeo de tierras indígenas", *Anual Review of Anthropology*, 34: 1-23, 2005, ISSN: 0084-6570.
- COLINA, A.; MARMOL, E.; MARTÍN, G.; TAMARIT, I.; GELER, T.; OLIVEROS, A.; AZOR, L.; FLORES, S.; LINARES, V.: Cartografía de la cobertura y uso de la tierra a escala municipal. Propuesta metodológica mediante el empleo de sensores remotos del proyecto BASAL, Cuba, [en línea], Inst. Instituto de Geografía Tropical, Informe Técnico, La Habana, Cuba, 10 p., 2016, Disponible en: <http://observatoriageograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Teledeteccion/15.pdf>, [Consulta: 30 de enero de 2017].
- DIRECCIÓN GENERAL DE GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE: "Aspectos técnicos de las imágenes Landsat", [en línea], En: INEGI, 31 de marzo de 2014, Disponible en: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf, [Consulta: 31 de enero de 2017].
- FALOH, R.; DIAZ, L.; VELIZ, A.; MARRERO, J.M.; JUNCO, N.; PRIMELLES, J.; GONZALEZ, M.; RAMOS, L.; GONZÁLEZ, M.; RAMOS, L.; GONZÁLEZ, R.; ALVÁREZ, M.; LUNA, F.; MOLINA, M.C.; RODRÍGUEZ, R.; MOSQUERA, C.; BARANDELA, A.M.; ACERES, M.: Atlas de Camagüey, (1:500 000), Ed. Academia de Ciencias de Cuba - Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana, Cuba, 120 p., 1989.
- INSTITUTO CUBANO DE GEODESIA Y CARTOGRAFÍA: Manual de Símbolos Convencionales 1:25000, 1:50000, 1:100000, Inst. Departamento de Cartografía, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, La Habana, Cuba, 29-33 p., 1974.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AEROSPACE SURVEY AND EARTH SCIENCE (ITC): "Image Processing", [en línea], En: *Ilwis User's Guide 3.0*, Ed. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science, 2.a ed., Enschede, The Netherlands, pp. 271-273, 2001, Disponible en: <ftp://ftp.itc.nl/pub/ilwis/ilwis30/pdf/chap06.pdf>, [Consulta: 8 de febrero de 2017].
- KLEE, P.: *GI science and earth observation: a process-based approach*, ser. ITC Educational Textbook, Ed. University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, 535 p., 2010, ISBN: 978-90-6164-293-0.
- MARMOL, E.; GELER, T.; CARMONA, J.; AZOR, L.; PÉREZ, A.; LAO, B.; PELÁEZ, D.; DUQUES, A.; GONZÁLEZ, I.: Elaboración del mapa de uso actual de la tierra y valoración de la dinámica espacio temporal del uso de la tierra, determinando los factores de cambio naturales y socioeconómicos, en los tres municipios, Inst. Dirección General de Medio Ambiente, Informe técnico, La Habana, Cuba, 30 p., 2016.
- MONTERO, R.; AROCHE, R.; AGÜERO, K.; MENDOZA, L.E.; RODRÍGUEZ, Y.; GARCÍA, R.; MARÍ, M.; HERNÁNDEZ, R.; CARNET, W.; ZEQUEIRA, M.; FIGUEREDO, E.; LAO, B.; LEÓN, M.; GAMBOA, A.; LEÓN, A.; FRANCIS, D.; PRIMELLES, J.: Estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundaciones por intensas lluvias, inundaciones por penetraciones del mar y afectaciones por fuertes vientos en la provincia de Camagüey,

- Inst. Agencia de Medio Ambiente, Informe Técnico, Camagüey, Cuba, 75 p., 2013.
- OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN (ONEI): Anuario Estadístico De Jimaguayú 2015, [en línea], Ed. ONEI, La Habana, Cuba, 120 p., 2016, Disponible en: <http://www.onei.cu/aed2015/30Camaguey/Municipios/11%20Jimaguayu.pdf>, [Consulta: 31 de enero de 2017].
- PONVERT, D.D.; LAU, Q.A.: "Uso de las imágenes de satélites y los SIG en el campo de la Ingeniería Agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4): 75-80, 2013, ISSN: 2071-0054, Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542013000400013&lng=es&nrm=iso&tlng=es, [Consulta: 31 de enero de 2018].
- PRIMELLES, J.; BRTIO, O.; REYES, G.; ACOSTA, Z.; PLACENCIA, F.; FIGUEREDO, C.E.; VENEGAS, C.; GONZÁLEZ, L.R.; LAO, B.; PELÁEZ, H.D.; YERO, L.M.; SEDEÑO, B.E.; FRANCIS, A.; JUNCO, G.N.; PEREDA, M.J.; CRUZ, C.M.O.: Modelo de ordenamiento ambiental para el municipio Jimaguayú (MOA), Inst. Agencia de Medio Ambiente, Informe Técnico, La Habana, Cuba, 121 p., 2015.
- REYES, E.R.: Preparación de los mapas temáticos para la evaluación de la degradación de la Tierra en Cuba a escala nacional, Inst. Instituto de Geografía Tropical, Informe Técnico, La Habana, Cuba, 49 p., 2010.
- SADECK, L.; RODRÍGUEZ, A.: "Corrección atmosférica Envi 4.5", [en línea], En: Geoinformacion, 2011, Disponible en: <https://geoinformacion.wordpress.com/2011/02/03/tutorial-envi-correccion-atmosferica/>, [Consulta: 26 de enero de 2017].
- TAMARIT, I.: Metodología de la cartografía digital de los ecosistemas costeros de Cuba, para la planificación y gestión de las áreas protegidas y de la cobertura de los suelos en áreas priorizadas, Inst. Instituto de Geografía Tropical, Informe Técnico, La Habana, Cuba, 56 p., 2006.
- URIARTE, A.; VICENT, J.M.; CHAPA, T.; MAYORAL, V.; PEREIRA, J.; CABRERA, A.: "Elaboración de mapas de uso potenciales de suelo a partir de datos de teledetección para estudios de arqueología del paisaje: Sociedades protohistóricas en el valle de Guadiana Menor (Andalucía Oriental)", [en línea], En: VII Congreso Ibero de Arqueometría-S4 Prospección Geofísica y Teledetección, Ed. Instituto de Historia - Museo Arqueológico Nacional, Madrid, España, pp. 555-565, 2017, Disponible en: http://humanidades.cchs.csic.es/ih/congreso_iberico/47.PDF, [Consulta: 28 de febrero de 2017].
- 22(4): 75-80, 2013, ISSN: 2071-0054, Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542013000400013&lng=es&nrm=iso&tlng=es, [Consulta: 31 de enero de 2018].
- PRIMELLES, J.; BRTIO, O.; REYES, G.; ACOSTA, Z.; PLACENCIA, F.; FIGUEREDO, C.E.; VENEGAS, C.; GONZÁLEZ, L.R.; LAO, B.; PELÁEZ, H.D.; YERO, L.M.; SEDEÑO, B.E.; FRANCIS, A.; JUNCO, G.N.; PEREDA, M.J.; CRUZ, C.M.O.: *Modelo de ordenamiento ambiental para el municipio Jimaguayú (MOA)*, Inst. Agencia de Medio Ambiente, Informe Técnico, La Habana, Cuba, 121 p., 2015.
- REYES, E.R.: *Preparación de los mapas temáticos para la evaluación de la degradación de la Tierra en Cuba a escala nacional*, Inst. Instituto de Geografía Tropical, Informe Técnico, La Habana, Cuba, 49 p., 2010.
- SADECK, L.; RODRÍGUEZ, A.: *Corrección atmosférica en envi*. Vig. 2005. Disponible en: <http://www.cartografia.cl/beta/index.php/articulos/677-correccion-atmosferica-en-envi-45>
- TAMARIT, I.: *Metodología de la cartografía digital de los ecosistemas costeros de Cuba, para la planificación y gestión de las áreas protegidas y de la cobertura de los suelos en áreas priorizadas*, Inst. Instituto de Geografía Tropical, Informe Técnico, La Habana, Cuba, 56 p., 2006.
- URIARTE, A.; VICENT, J.M.; CHAPA, T.; MAYORAL, V.; PEREIRA, J.; CABRERA, A.: *Elaboración de mapas de uso potenciales de suelo a partir de datos de teledetección para estudios de arqueología del paisaje: Sociedades protohistóricas en el valle de Guadiana Menor (Andalucía Oriental)*, Marzo 2009, Disponible en: http://humanidades.cchs.csic.es/ih/congreso_iberico/47.PDF
- WESTEN, C.; FARIFTEH, J.: *Ilwis User's Guide 3.0*, June 2001. <ftp://ftp.itc.nl/pub/ilwis/ilwis30/pdf/30UGwith31.pdf>

Received: 24/05/2017.

Approved: 22/12/2017.

Beatriz Lao Ramos, Inv. Agregado, Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey, Camagüey, Cuba. e-mail: blao@cimac.cu

Dania Peláez Hernández, e-mail: daniala@cimac.cu

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.