

## ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE USO DEL SUELO AGRÍCOLA EN EL ESTADO DE GUANAJUATO\*

### UPDATING THE AGRICULTURAL SOIL USE MAP IN THE STATE OF GUANAJUATO

**Roberto Paredes Melesio<sup>1§</sup>, Andrés Mandujano Bueno<sup>1</sup>, Alfredo Josué Gámez Vázquez<sup>1</sup> e Hilario García Nieto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Campo Experimental Bajío. INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km. 6.5. Celaya, Guanajuato, México. C. P. 38110. Tel. 01 (461) 6115431 y 6177740. (andres.mbueno@hotmail.com), (gamez.josue@inifap.gob.mx), (inifapnieto@prodigy.net.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: paredes.roberto@inifap.gob.mx.

#### RESUMEN

Las cartas de uso del suelo precisas y actualizadas a nivel estatal por una parte son un elemento primordial para la planeación del desarrollo agrícola, pecuario y forestal; por otra parte contribuyen a la toma de decisiones en los programas de apoyo al campo. En el estado de Guanajuato, la actividad agrícola involucra de manera directa e indirecta la cuarta parte de la población. Además, aporta un porcentaje considerable al producto interno bruto (PIB) estatal. El objetivo de este estudio fue actualizar la carta de uso del suelo agrícola del estado de Guanajuato. Este se efectuó durante el periodo 2006-2009 en los 46 municipios de Guanajuato. Se digitalizó en pantalla tomando como base 910 ortofotos digitales (escala 1:10 000) utilizando la aplicación Autodesk Map versión 5.0 (producto de cartografía basado en AutoCAD). La digitalización se validó utilizando como apoyo el programa Google Earth se realizó recorrido en campo para solventar dudas. Se clasificó el uso del suelo en función de la fuente de agua: temporal (precipitación pluvial), riego (por gravedad, bombeo de pozo profundo, bombeo directo de cuerpos de agua y agua residual); y humedad residual (enlames). Para el cálculo de la superficie se generaron capas de información; así como mapas temáticos. Actualmente la superficie dedicada a la actividad agrícola en el estado de Guanajuato es de 1 019

#### ABSTRACT

Accurate and updated state soil use maps are crucial in the planning of agricultural, cattle and forest development, whereas they also contribute to decision-making in the rural support programs. In the State of Guanajuato, agricultural activity directly and indirectly invokes one quarter of the total population. It also contributes a considerable portion of the Gross Domestic Product. The aim of this study was to update the soil use map of the State of Guanajuato. This was carried out between 2006 and 2009 in the 46 municipal areas of Guanajuato. It was digitized onscreen based on 910 digital orthophotos (scale of 1:10 000) using the application Autodesk Map version 5.0 (cartography product based on AutoCAD). The digitization was validated using Google Earth as a support, and the areas were visited in order to clarify any possible doubts. Soil use was classified according to the source of water: seasonal (rainfall), irrigation (by gravity, pumping from deep wells, pumping directly from bodies of water and residual water); and residual humidity (enlames). To calculate the surface, layers of information were created, along with thematic maps. Currently, the surface dedicated to farming activities in the State of Guanajuato is of 1 019 557 hectares, representing a reduction of 163 422 ha (5%) since the

\* Recibido: marzo de 2010  
Aceptado: enero de 2011

557 hectáreas; lo que representa una disminución de 163 422 ha (5%) con referencia al último estudio realizado. El Distrito de Desarrollo Rural 005 tiene la mayor superficie agrícola con 39% del total estatal (242 000 ha) y concentra el mayor porcentaje de superficie bajo la modalidad de riego. El bombeo de pozos profundos es la actividad más empleada para el riego (26% de la superficie).

**Palabras clave:** Guanajuato, ortofoto digital, riego, Sistema de Información Geográfica, suelo agrícola.

## INTRODUCCIÓN

En el estado de Guanajuato las actividades agrícolas se efectúan en 1.2 millones de hectáreas de las cuales poco más de 430 mil (36%) se cultivan bajo condiciones de riego. El sector agropecuario aporta el 6.6% del PIB en el estado (plan de gobierno Guanajuato 2006-2012); sin embargo, 25% de la población (1.12 millones) depende de forma directa e indirecta de las actividades agropecuarias.

Planear el desarrollo requiere implementar acciones que contribuyan a lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, para satisfacer las necesidades actuales y futuras de alimentos y materias primas. Entre las acciones que actualmente se aplican con el apoyo de los tres niveles de gobierno, destacan los relacionados con mejorar la eficiencia de aprovechamiento del agua (UPIE, 2004).

La actividad agrícola en el estado de Guanajuato es muy dinámica en cuanto a la superficie y cultivos establecidos, debido a cambios en el uso del suelo, crecimiento urbano, migración, aspectos económicos (precio de los productos) y disponibilidad de agua (García *et al.*, 2002).

La actividad agrícola utiliza más de 80% del agua disponible. Las fuentes de agua en Guanajuato son diversas: precipitación pluvial, superficiales (lagos, ríos, presas, pequeños cuerpos de agua) y alternativas (agua tratada), (Ortega, 2008).

El ordenamiento del territorio se define como el conocimiento preciso del uso del suelo, la dinámica con que se modifica y los factores que lo causan (UPIE, 2004).

El estudio previo sobre el uso del suelo agrícola en Guanajuato elaboró cartografía a partir de ortofotos escala 1:20 000 (García y Martínez, 2007), con el máximo nivel

previo estudio. The Rural Development District 005 has the largest farming surface, with 39% of the state total (242 000 ha) and it concentrates the largest surface percentage under irrigation. The most common irrigation activity is pumping deep wells (26% of the surface).

**Key words:** digital orthophoto, farmlands, Geographic Information Systems, Guanajuato, irrigation.

## INTRODUCTION

Farming activities in the State of Guanajuato are carried out in 1.2 million hectares, out of which little over 430 thousand (36%) are planted under conditions of irrigation. The farming sector contributes 6.6% of the Gross Domestic Product (GDP) in the state (Guanajuato Government Plan 2006-2012). However, 25% of the population (1.12 million) relies on farming activities directly or indirectly.

Planning development requires implementing actions that contribute to a sustainable use of natural resources, to satisfy current and future needs for food and raw material. Some actions taken with the support of all three levels of government are related to improving the efficiency of water use (UPIE, 2004).

Farming in the State of Guanajuato, is a very dynamic activity in terms of surface and crops established, due to changes in land use, urban growth, migration, economic aspects (price of the produce) and water availability (García *et al.*, 2002).

Farming activities require over 80% of the available water. Sources of water in Guanajuato are diverse: rainfall, surface water (lakes, rivers, dams, small bodies of water) and alternatives (treated water), (Ortega, 2008).

The territorial legislation is defined as the precise knowledge of the use of land, the dynamics with which it is modified and the factors that cause it (UPIE, 2004).

The previous study in the use of farmlands in Guanajuato created maps from orthophotos at a scale of 1:20 000 (García and Martínez, 2007), with the greatest detail possible for images at that scale. However, the maps contain generalization errors of the farming features

de detalle permitido por las imágenes a esa escala; sin embargo, las cartas incluyen errores de generalización del rasgo agrícola que derivan en la inclusión de rasgos no agrícolas (caminos, bordos, comunidades, entre otros) que sobreestiman la superficie agrícola real.

En los estudios sobre la cartografía del uso del suelo agrícola es importante tomar en cuenta que existe gran diferencia entre los términos cobertura del suelo y uso del suelo. Cobertura se refiere a los objetos que se encuentran sobre zonas específicas y su distribución, mientras que uso del suelo se refiere a las actividades sociales y económicas que se llevan a cabo dentro del territorio, con presencia de una cobertura específica de suelo (François *et al.*, 2008). De acuerdo a esto, se considera que las características de las ortofotos digitales se aprovechan de mejor forma para delimitar la cobertura del suelo, que para el uso del suelo (Barr and Barnsley, 1999).

Sin embargo, las razones de utilizar ortofotos digitales para delimitar el uso del suelo son: a) por su gran utilidad al mostrar en forma directa y clara los rasgos de la superficie terrestre; b) por ser la fuente básica de la información cartográfica, de la cual se aprovechan sus características geométricas y de georreferenciación necesarias en los trabajos cartográficos (INEGI, 2007); y c) en la actualidad los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten combinar imágenes digitales con información vectorial y tabular, para facilitar el procedimiento de fointerpretación (Hinton, 1999).

El trabajar con imágenes de escalas mayores nos lleva a considerar aspectos que tienen que ver con la resolución vectorial de los datos, estos corresponden a la resolución espacial de las ortofotos, (el tamaño promedio de los vectores, representa los rasgos de tipo línea y área). Es decir, se deben aprovechar por una parte el nivel de acercamiento, que permiten las ortofotos para digitalizar los datos con mayor nivel de detalle, por otra parte representar los datos en escalas mayores para hacer posible colocar información vectorial sobre las ortofotos y garantice su consistencia geométrica (INEGI, 2004).

El formato cartográfico de escala 1:10 000 corresponde espacialmente con la cuarta parte del formato cartográfico 1:20 000. Este a su vez representa la sexta parte del formato 1:50 000 (INEGI, 1993). Es importante resaltar la importancia de trabajar con parámetros oficiales manejados por INEGI, porque esta institución se especializa en la

which derive in the inclusion of non-farming features (roads, paths, towns, and others), which overestimate the real farming surface.

In the studies on the cartography of the use of farmlands, it is important to consider that there is a great difference between the terms land coverage and land use. Coverage refers to the objects found on specific areas and their distribution, whereas land use refers to the social and economic activities performed within the territory, with the presence of specific land coverage (François *et al.*, 2008). According to this, the characteristics of digital orthophotos are given best use for demarcating land coverage than for land use (Barr and Barnsley, 1999).

However, the reasons for using digital orthophotos to delimit land use are: a) their great usefulness, since they show in a clear and direct way, the features of the surface of the land, b) they are the basic source of cartographic information, the necessary geometric and geo-referentiation characteristics of which are used in cartographic projects (INEGI, 2007), and c) Geographic Information Systems (GIS) currently help combine digital imagery with vectorial and tabular information, to help the photo-interpretation procedure (Hinton, 1999).

Working with greater scale images, leads us to consider aspects related to the vectorial resolution of the data, which correspond to the spatial resolution of the orthophotos (the average vector size represents the features line and area). In other words, the degree of approximation, which allow the orthophotos to digitize the data in greater detail, must be taken advantage of, along with the possibility of representing data in greater scales to be able to place vectorial information on the orthophotos and thus guarantee their geometric consistence (INEGI, 2004).

The cartographic format on a scale of 1:10 000 spatially corresponds to one quarter of the cartographic format 1:20 000. The latter represents a sixth of the format 1:50 000 (INEGI, 1993). It is worth indicating the difference of working with official parameters published by INEGI, because this institution specializes in gathering geographic information. This guarantees the quality of the information and promotes the users to take advantage of it.

The use of GIS has currently been established as one of the most widely used tools for gathering, storing, editing, analyzing and displaying information on the real world for

extracción de información geográfica. Esto garantiza la calidad de información y fomenta su aprovechamiento por parte de los usuarios.

En la actualidad el uso del SIG se ha establecido como una de las herramientas más empleadas para coleccionar, almacenar, editar, analizar y desplegar información del mundo real para un sin número de propósitos. A través de estos se puede manejar información geográfica (mapas e imágenes) y no geográfica (atributos) provenientes de varias fuentes (Rosete y Bocco, 2003), al combinarse hacen más rápido el estudio de cualquier fenómeno y provee resultados con un alto nivel de precisión; sin embargo, el manejo de diferentes fuentes de información implica problemas relacionados con la calidad y compatibilidad de la información, ya que con frecuencia ésta se genera a partir de una diversidad de escalas de trabajo, proyecciones y fuentes de datos, en algunos casos obsoletos o con alto grado de incertidumbre; lo anterior, provoca la acumulación de errores de exactitud y etiquetado.

Considerando lo anterior el uso de un mapa base como referencia para actualizar la información del estado, permite reducir errores y lograr concordancia entre la información compartida entre unidades productoras. El presente estudio tuvo como objetivo actualizar la carta de uso del suelo agrícola; así como clasificarla de acuerdo a la fuente de agua utilizada para su riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), de octubre del 2006 a julio del 2009. Se utilizó el mapa base del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el software de cartografía y análisis de información geográfica Autodesk Map 5.0, complementado con una aplicación de extracción Vectorial, esta aplicación fue desarrollada por INEGI para elaborar datos geográficos digitales, utilizando imágenes del mismo tipo, a través de ella se pueden realizar un conjunto de procesos que implica esta actividad (INEGI, 2004). Se verificaron en campo las áreas difíciles de interpretar en las imágenes de satélite y se elaboraron 46 mapas a nivel municipal de uso del suelo agrícola y la fuente de agua.

countless purposes. Using them, one can handle geographic (maps and images) and non-geographic information (features) from various sources (Rosete and Bocco, 2003). When combined, they speed up the study of any phenomenon and produces highly accurate results. Nevertheless, handling different sources of information implies problems related to information quality and compatibility, since the information is frequently generated from diversity of work, projections and data source, occasionally obsolete or with a high degree of uncertainty, which causes an accumulation of precision and labeling errors.

Taking this into account, the use of a base map as a reference for updating the information of the state helps avoid errors and achieve consistency between production units. This aim of this study was to update the land use map, as well as to classify it according to the water source used for its irrigation.

## MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in the Bajío Experimental Station of the National Forestry, Agricultural and Livestock Research Institute (INIFAP), from October, 2006 to July, 2009. The base map of the National Statistics and Geography Institute (INEGI), the cartography and geographic information software Autodesk Map 5.0, complemented with a vectorial extraction application. This application was developed by INEGI to create digital geographic data, using digital images; its use can help create a set of processes that this activity implies (INEGI, 2004). The areas considered difficult to interpret in satellite images were verified in the field and 46 municipal maps were made of the use of farmlands and water sources.

### Area of study

The State of Guanajuato has an extension of 30 608 km<sup>2</sup> which makes up 1.6% of the area of Mexico; it is located geographically between 19° 55' 16" and 21° 50' 16" Latitude North and 99° 39' 52" and 102° 07' 17" Longitude West. Its 46 municipal areas are arranged into five Rural Development Districts (DDR): Dolores Hidalgo, San Luis de la Paz, León, Celaya and Cortázar. At a local level, the districts are identified by the numbers 001, 002, 003, 004, and 005, respectively (INEGI, 2006).

## Área de estudio

El estado de Guanajuato cuenta con una extensión territorial de 30 608 km<sup>2</sup> que representa 1.6% del territorio nacional, se ubica geográficamente entre 19° 55' 16" y 21° 50' 16" latitud norte y 99° 39' 52" y 102° 07' 17" longitud oeste. Comprende 46 municipios agrupados en cinco Distritos de Desarrollo Rural (DDR): Dolores Hidalgo, San Luis de la Paz, León, Celaya y Cortázar. A nivel local los distritos se identifican con los números 001, 002, 003, 004, y 005, respectivamente (INEGI, 2006).

## Procedimiento

El mapa base de INEGI que es un conjunto de rasgos topográficos para el estado de Guanajuato, se desplegó sobre 910 ortofotos digitales escala 1:10 000; estas cubren el total de la superficie del estado. Para la digitalización del área agrícola directamente en pantalla se utilizó el software de cartografía y análisis de información geográfica Autodesk Map 5.0, complementado con la aplicación de extracción Vectorial. Durante el proceso de digitalización, se identificaron, cotejaron y corrigieron las áreas con uso del suelo en actividades agrícolas y se excluyeron superficies sujetas a inundación, abandonadas, cuerpos de agua, de uso urbano, carreteras y caminos secundarios de seis metros de ancho o más.

La superficie de uso agrícola se clasificó de acuerdo a la fuente de agua: temporal (precipitación pluvial), riego (por gravedad, bombeo de pozo profundo, bombeo directo de cuerpos de agua, agua residual) y humedad residual (enlames).

Durante el proceso de digitalización se observaron áreas difíciles de interpretar debido a la baja calidad de la imagen en las ortofotos; particularmente, en las áreas con vegetación densa, terreno escarpado y la presencia de nubosidad. Para resolver este problema se utilizaron imágenes satelitales de Google Earth, por su alta resolución y amplia cobertura, además de contar con el mismo sistema de coordenadas geográficas (Wikipedia, 2009) utilizado para este proyecto. Esto permitió el uso de las imágenes para precisar el uso del suelo en estas áreas.

En las regiones donde no fue posible determinar con precisión las áreas agrícolas y de exclusión por medio de las imágenes, se etiquetaron y ubicaron mediante coordenadas geográficas para su posterior revisión en campo.

## Procedure

INEGI's base map, which is a set of topographic features for the State of Guanajuato, was spread over 910 digital orthophotos at a scale of 1:10 000, which cover the total surface of the state. To digitize the farmland directly onto a screen, the Autodesk Map 5.0 geographic information analysis and cartography software was used, and complemented with the vectorial extraction application. During the digitization process, the areas with land use in farmlands were identified, checked and corrected, whereas surfaces vulnerable to floods, or abandoned surfaces, or bodies of water, surfaces with urban land use, roads and paths at least six meters wide were excluded.

Farmland surface was classified depending on the source of water: seasonal (rainfall), irrigation (by gravity, pumping from deep wells, pumping directly from bodies of water and residual water) and residual humidity (enlames).

During the digitization process areas were found which were difficult to interpret due to the low quality of the imaging in the orthophotos; particularly in areas with dense vegetation, steep slopes and foggy. To solve this problem Google Earth satellite images were used, due to their high resolution and wide coverage, as well as using the same geographic coordinates system (Wikipedia, 2009) as this project. This helped use the images to point out the use of land in these areas.

In the areas in which it wasn't possible to determine the farming and exclusion areas precisely using the images, they were labeled and located using geographic coordinates to later be revised on the field.

Field verification was carried out in the 46 municipal areas of the State of Guanajuato, divided in regions according to existing accesses and roads. Twelve technicians gave technical support, under the coordination of the company Consultores en Proyectos y Proveedores Agroindustriales S. A. de C. V. (COPPASA). They were chosen considering their detailed knowledge of the area, and they were trained in a) the use of GPS equipment; b) interpretation of maps printed on a scale of 1:15 000, in which the sites to be verified were pointed out; and c) the identification of water sources, land desertion, change of land use and urban growth.

La verificación de campo se efectuó en los 46 municipios del estado de Guanajuato, divididos en regiones trazadas en función de los accesos y las vías de comunicación existentes, se contó con el apoyo de 12 técnicos, coordinados por la empresa Consultores en Proyectos y Proveedores Agroindustriales S. A. de C. V. (COPPASA), fueron elegidos considerando el conocimiento detallado del área por verificar y recibieron capacitación en: a) uso de equipos de posicionamiento geográfico (GPS); b) interpretación de mapas impresos a escala 1:15 000 en los que se señalaron los sitios por verificar; y c) en la identificación de la fuente de agua, abandono de tierras, cambio de uso del suelo y crecimiento urbano.

Para delimitar los ejidos y verificar las áreas agrícolas más apartadas se trazaron secciones y rutas facilitando la cobertura total de los municipios. Al final del proceso de verificación se obtuvieron mapas impresos con el uso actual del suelo clasificado en función de la fuente de agua y las bitácoras de campo a nivel municipal. Así que, se eliminaron errores derivados de la digitalización y mejoró la calidad de los resultados.

Una vez finalizada la verificación, se integraron los resultados de campo a la digitalización realizada usando como base las ortofotos. Esta actividad permitió corroborar trazos para aumentar, eliminar y clasificar de acuerdo a la fuente de agua.

Una vez digitalizadas las correcciones, se crearon capas de información para cada clase de fuente de agua; y se elaboraron los mapas preliminares para cada municipio. Posteriormente, las capas de información se exportaron al formato shape para integrarlas en tres niveles de desagregación: estatal, distrital y municipal, por medio de la aplicación ArcView 3.3. Primero se crearon identificadores para cada polígono; segundo, se calculó el área y perímetro de cada uno de ellos por fuente de agua. Las superficies determinadas se compararon con resultados de otros estudios y con los reportadas por INEGI (generados a escala 1:50 000). Por último se generaron los mapas para impresión por cada uno de los niveles de desagregación mencionados anteriormente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La superficie agrícola dedicada a la actividad agrícola en el estado de Guanajuato fue de 1 019 557 hectáreas. Esto representa una disminución de 234 540 hectáreas (33%)

In order to delimit the communal and the most remote farmlands, sections and routes were traced, to facilitate the coverage of all municipal areas. At the end of the verification process, maps were printed with the current use of land, classified according to water sources and the municipal field logbooks. So errors caused by the digitization were eliminated and the quality of the results was eliminated.

Once the verification was finished, the field results were incorporated to the digitization, based on the orthophotos. This activity helped corroborate traces to increase, eliminate and classify according to water sources.

Once the corrections were digitized, layers of information were created for each water source and the preliminary maps were made for each municipal area. Later, the layers of information were exported to a shape format in integrate them in three levels of breakdown: state, district and municipal, using the application ArcView 3.3. Identifiers were first created for each polygon; then the area and perimeter of each were calculated per water source. The surfaces established were compared with results from other studies and with those reported by INEGI (created at a scale of 1:50 000). Finally, the maps for printing were created for each of the disintegration levels mentioned earlier.

## RESULTS AND DISCUSSION

The farming surface used for farming in the State of Guanajuato was 1 019 557 hectares. This represents a reduction of 234 540 hectares (33%) in comparison to figures from 1993 (SARH, 1993) and of 155 004 hectares in comparison to 2007 (García and Martínez, 2007). The established farming surface accounts for 33% of the surface of the State. In comparison to figures from studies in 1993 and 2007, it fell 8 and 5% respectively.

The drop in the farming area is attributed, on one hand, to the precision of the orthophotos used at a scale of 1:10 000, and on the other hand, to the methodology of *in situ* verification of the areas in which boundaries, and current land use, were determined. This helped identify the growth of urban areas, the construction of new roads, desertion of lands, fields smaller than 2 500 m<sup>2</sup>, and

respecto a la superficie reportada en 1993 (SARH, 1993) y de 155 004 hectáreas a la reportada en 2007 (García y Martínez, 2007). La superficie agrícola determinada representa 33% de la superficie estatal. Comparada con las reportadas en los estudios realizados en 1993 y 2007 disminuyó 8 y 5% respectivamente.

La disminución observada del área agrícola se atribuye por un lado, al nivel de precisión de las ortofotos utilizadas a escala 1:10 000; y por otro, a la metodología de verificación *in situ* de las áreas donde fue necesario determinar linderos y en su caso el uso actual del suelo. Lo anterior permitió identificar: crecimiento de áreas urbanas, construcción de nuevas vías de comunicación, abandono de tierras, parcelas menores a 2 500 m<sup>2</sup>, y a su vez excluir caminos de seis metros o más de ancho y rasgos no agrícolas (cuerpos de agua, vegetación densa, carreteras y áreas urbanas pequeñas, entre otras).

La reducción en la superficie agrícola reportada en los estudios realizados en 1993 y 2009 indica un crecimiento de las áreas urbanas, la construcción de nuevas vías de comunicación y el abandono de tierras. Esto representa aproximadamente 14 658 hectáreas menos por año de la superficie agrícola. El abandono de tierras, principalmente en áreas de temporal es provocado por la migración y suspensión de actividades a causa de la edad de los productores, quienes poseen 52 años de edad en promedio (Unidad de Desarrollo Agrícola CEPAL, 2005). La degradación de tierras es otra causa importante en el abandono de tierras, debido a los bajos rendimientos y producción de las parcelas, el costo elevado de los insumos de producción (semilla, fertilizante, agroquímicos, etc).

En general, las tierras abandonadas comprenden zonas con agricultura de temporal. Esta actividad se realiza en las partes medias y bajas de los cerros. Actualmente se encuentran ocupadas en su mayoría por vegetación secundaria y se han incorporado al uso pecuario y forestal.

En la región norte del estado se realiza en gran medida agricultura de temporal, en donde la media de la superficie cultivada se encuentra entre 0.5 y 1 ha; por lo tanto, esta región es discriminada como agrícola; sin embargo, al cuantificar la superficie total de estas áreas se obtienen alrededor de 20 000 ha. Éstas en su mayoría son superficies cultivadas para autoconsumo.

also to exclude roads at least six meters wide and non-farming features (bodies of water, dense vegetation, roads and small urban areas, and others).

The reduction of the farming surface recorded in the studies from 1993 and 2009, indicates a growth of urban areas, the construction of new roads and the desertion of lands. This accounts for approximately 14 658 hectares less per year of farming surfaces. Land desertion, mostly in rainy seasons, is caused by migration and suspending activities due to old age of the farmers, who are, on average, 52 years old (Unidad de Desarrollo Agrícola CEPAL, 2005). Land degradation is another important cause of land desertion, due to the low yields and production of the fields, the high costs of farming inputs (seeds, fertilizers, agrochemicals, etc).

In general, deserted lands are in areas with seasonal agriculture. This activity is carried out in the middle and lower areas of the hills. They currently contain secondary vegetation and have been used for forestry and cattle purposes.

In the north of the state, there is mostly seasonal agriculture, and the average area of plantation fluctuates between 0.5 and 1 ha; therefore this area is labeled as agricultural. However, when measuring the total surface of these areas, the total is of around 20 000 ha. These surfaces are mostly planted for subsistence.

The largest farming area is in DDR-005, which contains 39% of the state total. Of this percentage, 242 000 ha are irrigated. DDR-001 accounts for 25% of the entity's farming surface, with an irrigated surface of 28 600 ha. The remaining 36% belongs to districts 002, 003 and 004 with 7, 15 and 14% of the surface, respectively (Table 1).

In Guanajuato, seasonal agriculture is carried out in two cycles: spring-summer and autumn-winter. In the former, mostly maize, beans and sorghum are grown during rainy seasons (June to September), and in the latter, some areas are used for planting spring-summer crops, and taking advantage of the residual humidity in the autumn-spring, a second crop, mostly chickpeas (García and Martínez, 2005). Also during the rainy season, small flood lands were included. These areas are known as 'enlames' and are used to grow mostly lentils and wheat in the winter. Even

La mayor superficie agrícola esta en el DDR-005, el cual contiene 39% del total Estatal. De estas, 242 000 ha se encuentran bajo condición de riego. El DDR-001 representa 25% de la superficie agrícola de la entidad con 28 600 ha bajo riego. El 36% restante, corresponde a los distritos 002, 003 y 004 con 7, 15 y 14% de la superficie, respectivamente, Cuadro 1.

when the seasonal farming surface tends to decrease, it is currently the most extensive type of farming in the state, predominantly on hillsides. The few areas of enlames are located in the municipal areas of Jerécuaro, Apaseo el Alto and Comonfort, which belong to DDR-004 (Figure 1).

**Cuadro 1. Superficie agrícola por fuente de agua en el estado de Guanajuato, 2009.**

**Table 1. Farming surface per water source in the State of Guanajuato, 2009.**

Municipio-DDR	Agricultura de riego (ha)				Temporal (ha)	Enlame (ha)	Total (ha)
	Bombeo	Gravedad	Rebombeo	Agua residual			
Total estatal	265 294.9	143 155.6	24 616.5	3 782.92	579 927.1	2 780.61	1 019 557.71
DDR 001	46 327.23	9 752.16	2 620.06	SD	19 259.18	23.43	251 182.06
Allende	5 550.77	3 340.32	0.24	SD	32 833.48	23.43	41 748.24
Dolores Hidalgo	26 901.36	556.8	123.5	SD	35 186.58	SD	62 768.24
Ocampo	SD	56.81	2 496.32	SD	34 633.57	SD	37 186.7
San Diego de la Unión	3 940.08	244.02	SD	SD	26 440.37	SD	30 624.47
San Felipe	9 935.02	5 554.21	SD	SD	63 365.18	SD	78 854.41
DDR 002	20 876.15	423.84	194.63	SD	54 675.84	SD	76 170.46
Atarjea	SD	SD	SD	SD	564.18	SD	564.18
Doctor Mora	4 289.7	SD	SD	SD	7 064.62	SD	11 354.32
San José Iturbide	5 536.93	1.03	SD	SD	13 312.83	SD	18 850.79
San Luis de la Paz	10 683.67	91.23	SD	SD	26 850.74	SD	37 625.64
Santa Catarina	SD	SD	SD	SD	569.29	SD	569.29
Tierra Blanca	SD	SD	9.33	SD	1 067.21	SD	1 076.54
Victoria	365.85	331.58	SD	SD	3 255.72	SD	3 953.15
Xichú	SD	SD	185.3	SD	1 991.25	SD	2 176.55
DDR 003	42 512.55	12 792.27	183.4	2 592.5	97 298.07	927.98	156 306.77
Guanajuato	386.89	67.32	153.83	SD	9 624.60	SD	10 232.64
León	10 952.66	940.23	SD	1 853.77	19 297.23	SD	33 043.89
Manuel Doblado	5 391.67	4 666.42	SD	SD	14 793.34	131.31	24 982.74
Purísima del Rincón	4 421.13	3 115.08	SD	SD	3 830.54	SD	11 366.75
Romita	6 125.12	2 261.6	SD	SD	18 504.99	796.67	27 688.38
San Francisco del Rincón	7 537.13	1 252.84	SD	628.29	12 439.93	SD	21 858.19
Silao	7 697.95	488.78	29.57	110.44	18 807.44	SD	27 134.18
DDR 004	39 125.86	13 219.63	3 314.07	939.09	85 258.5	954.83	142 811.97
Apaseo el Alto	4 098.49	51.11	674.61	SD	12 883.63	31.81	17 739.65
Apaseo el Grande	9 479.55	9.46	SD	SD	10 393.27	72.69	19 954.97
Celaya	10 565.22	8 747.5	0.08	939.09	6 680.57	SD	26 932.45
Comonfort	2 943.6	1 226.56	688.2	SD	9 218.82	SD	14 077.17
Coroneo	149.38	453.4	SD	SD	2 918.75	10.97	3 532.5
Jerécuaro	1 340.89	2 599.3	SD	SD	23 896.04	578.02	28 414.25
Juventino Rosas	6 912.33	122.13	SD	SD	12 706.8	261.34	20 002.6
Tarimoro	3 636.4	10.17	1 951.19	SD	6 560.62	SD	12 158.38

SD= sin dato



**Cuadro 1. Superficie agrícola por fuente de agua en el estado de Guanajuato, 2009 (Continuación).****Table 1. Farming surface per water source in the State of Guanajuato, 2009 (Continuation).**

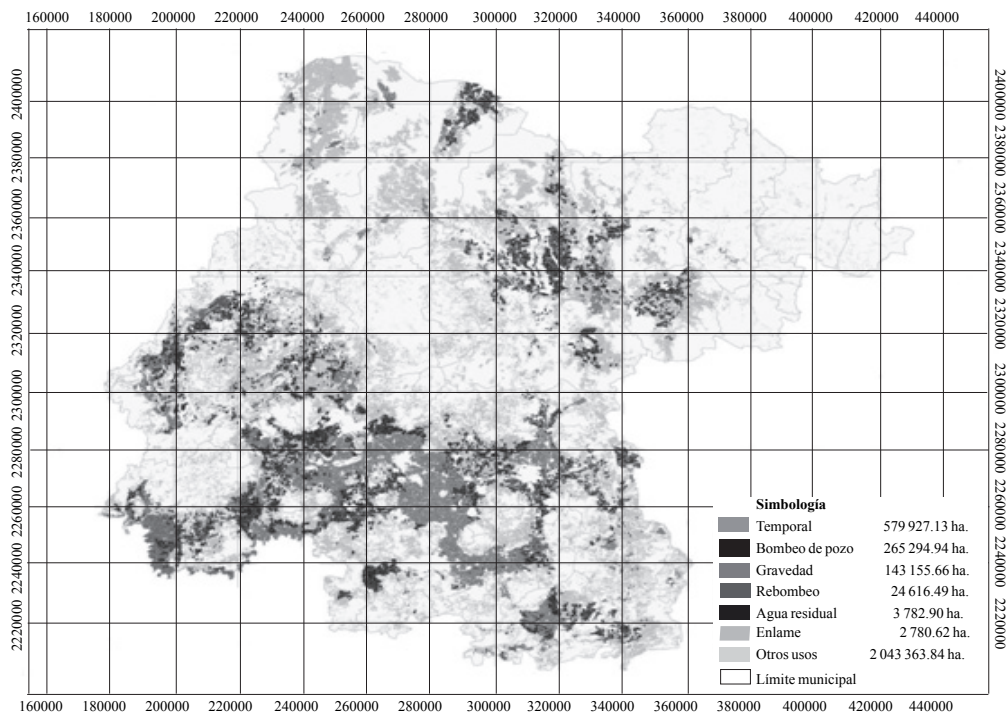
Municipio-DDR	Agricultura de riego (ha)				Temporal (ha)	Enlame (ha)	Total (ha)
	Bombeo	Gravedad	Rebombeo	Agua residual			
DDR 005	116 453.2	106 967.7	18 304.34	251.33	150 235.5	874.37	393 086.45
Abasolo	14 854.42	7 969.79	924.54	62.86	13 562.99	SD	37 374.6
Acámbaro	10 820.03	7 764.62	SD	SD	15 189.06	SD	33 773.71
Cortazar	5 042.22	3 585.51	SD	SD	6 388.81	0.11	15 016.64
Cuerámbaro	3 748.92	3 014.02	SD	SD	4 888.38	SD	11 651.32
Huanámbaro	2 649.84	2 739.89	243.94	SD	2 880.57	SD	8 514.25
Irapuato	14 914.19	13 695.27	21.79	SD	17 254.8	616.96	46 503
Jaral del Progreso	70.51	9 453.87	SD	SD	1 327.34	SD	10 851.72
Moroleón	9.9	SD	SD	SD	1 931.36	SD	1 941.26
Pénjamo	25 317.35	4 801.46	14 632.19	SD	26 833.05	97.99	71 682.05
Pueblo Nuevo	0.67	3 652.83	31.95	SD	346.66	SD	4 032.11
Salamanca	8 497.14	22 235.34	0.79	SD	9 722.62	SD	40 455.88
Salvatierra	1 403.54	13 904.68	100.72	SD	9 894.34	SD	25 303.28
Santiago Maravatío	0.03	1 696.88	SD	SD	797	SD	2 493.91
Tarandacua	2 465.2	3.99	SD	SD	4 397.43	SD	6 866.63
Uriangato	136.53	SD	SD	120.19	2 125.17	SD	2 381.89
Valle de Santiago	14 822.02	9 999.47	2 348.41	SD	17 991.46	SD	45 161.36
Villagrán	3 945.20	1 941.61	SD	68.28	3 657.79	SD	9 612.88
Yuriria	7 755.45	508.53	SD	SD	11 046.69	159.32	19 469.99

SD= sin dato

En Guanajuato, la agricultura de temporal se desarrolla en dos ciclos: primavera-verano y otoño-invierno; en el primero, se siembra principalmente maíz, sorgo y frijol durante el periodo de lluvias, las cuales ocurren entre los meses de junio a septiembre y en el segundo las áreas donde además de los cultivos de primavera-verano, se siembra un segundo cultivo aprovechando la humedad residual en otoño-invierno, principalmente garbanzo (García y Martínez, 2005). En esta modalidad, también se incluyeron pequeñas áreas inundables durante el periodo de lluvias. Estas áreas son conocidas como 'enlames', se siembran en invierno con lenteja y trigo principalmente. Aún cuando la superficie agrícola de temporal tiende a disminuir, actualmente es la clase agrícola con mayor extensión y distribución en el Estado, predominantemente en laderas. Las pocas áreas de enlames se localizaron en los municipios de Jerécuaro, Apaseo el Alto y Comonfort pertenecientes al DDR-004 (Figura 1).

The decrease in the farming areas established in this study, in comparison to the study carried out in 2005 (García and Martínez, 2005), shows the changes that have taken place according to water sources used for the irrigation of fields and their possible causes. DDR-001 presents a 4% reduction in the use of well water for the irrigation of farming areas, out of which 3% changed in seasonal farming. The rest is irrigated by pumping water directly out of bodies of water (rivers, streams, lagoons, etc). This situation may be due to the desertion of wells, due to the drying of the water tables, caused by excessive use.

DDR 002 shows that the water sources used for farming were kept constant, since only 1% changed from rainfall (seasonal) to irrigation by gravity. This situation may be due to most of the farming area in this district is seasonal (71%) and basically subsistence farming. In DDR-003,



**Figura 1. Distribución de la superficie agrícola por fuente de agua en el estado de Guanajuato, 2009.**  
**Figure 1. Distribution of the agricultural surface per water source in the State of Guanajuato, 2009.**

El decremento de la superficie agrícola determinado en el presente estudio comparado con el estudio realizado en 2005 (García y Martínez, 2005), muestra los cambios que se han presentado de acuerdo a las fuentes de agua empleadas para el regadío de los cultivos y sus posibles causas. Se observa en el DDR-001 hubo un decremento 4% en el uso de agua de pozo para el cultivo de áreas agrícolas, de este porcentaje se destaca que 3% cambió en agricultura de temporal. El resto se riega mediante bombeo directo de cuerpos de agua (ríos, arroyos, lagunas, bordos etc), esta situación posiblemente se debe al abandono de pozos, por abatimiento de los mantos freáticos, causado por la extracción excesiva.

En el DDR 002 se observa que las fuentes de agua empleadas para la producción agrícola, se mantuvieron constantes, ya que sólo 1% cambio de precipitación pluvial (temporal) a riego por gravedad, posiblemente esta situación es porque la mayor parte del área agrícola en este distrito es de temporal (71%) y básicamente es de subsistencia. En el DDR-003 se observó un cambio de fuente de agua para el cultivo de 3% en agricultura de temporal, distribuyéndose 1% para bombeo de pozo, 1%

a change in water source for the crop in 3% of seasonal farming, distributing 1% for well pumping, 1% for gravity and 1% for enlames. This may be as a response to the level of detail handled, and to field visits, which helped appreciate lands with residual humidity in detail.

DDR-004 showed a 4% increase for seasonal and 1% for re-pumping. These increases are reflected in the 2% decrease in irrigation using well water and 3% in gravity. This district displays the same phenomenon as in DDR-001, due possibly to the overuse of wells. DDR-005 is a special case, because this district displayed the greatest reduction of farming surface, due mostly to urban areas, an industrial park and the construction of new roads. Along with other observations, proportions were observed in comparison to the 2005 study, in which the seasonal dropped 4%. However, these reductions were reflected in the 5% rise of re-pumping and 1% of pumping from wells. In this district, the use of pumping from wells is continually increased, probably due to the waste of water caused by its improper use, as well as the scarce technification that guarantees the saving of water, causing level of the water table to drop more and more.

para gravedad y 1% para enlames. Lo anterior posiblemente como respuesta al nivel de detalle manejado y a los recorridos de campo, que permitieron una apreciación más detallada de los terrenos con humedad residual.

El DDR-004 presentó un aumento de 4% para temporal y 1% en bombeo. Estos incrementos se ven reflejados en la disminución 2% en riego mediante agua de pozo y 3% en gravedad. En este distrito se presenta el mismo fenómeno del DDR-001, debido posiblemente por la sobreexplotación de los pozos. El DDR-005 es un caso especial, porque este distrito presentó la mayor disminución de área agrícola, debido principalmente al crecimiento de las zonas urbanas, corredor industrial y surgimiento de nuevas vías de comunicación; entre otras situaciones, se observan las proporciones con respecto al estudio de 2005, donde la superficie cultivada de temporal disminuyó 4%. Sin embargo, estos decrementos se vieron reflejados en el aumento de 5% del bombeo y 1% del bombeo de pozo. En este distrito la utilización del bombeo de pozo se incrementa cada vez más, situación derivada probablemente por el desperdicio de agua a raíz de malas prácticas y manejos, además de la poca tecnificación que garantice el ahorro del vital líquido. Ocasionando que baje cada vez más el nivel del manto freático.

## CONCLUSIONES

Mediante la integración de ortofotos digitales, mapa base, herramientas SIG y recorridos de campo es posible identificar y cuantificar las áreas con uso agrícola; sin embargo, la precisión y confiabilidad de sus resultados forman parte de un proceso gradual que se ve sujeto a la calidad de los insumos, herramientas y metodologías empleadas.

La escala 1:10 000 de las ortofotos permite disminuir la sobreestimación de la superficie de uso agrícola porque proporciona la digitalización detallada del área de estudio y minimiza la inclusión de áreas no agrícolas.

La superficie agrícola del estado de Guanajuato disminuyó en 155 004 ha (5%) respecto al estudio realizado en 2007.

La fuente de agua para el riego más importante en el estado es el bombeo de pozos profundos con 26% de la superficie; sin embargo, se aprecia una tendencia a disminuir debido al abatimiento de los mantos acuíferos.

## CONCLUSIONS

By integrating digital orthophotos, base maps, GIS tools and field observations, it is possible to identify and quantify the areas used for farming, although the precision and reliability of the results are a part of a gradual process that is subjected to the quality of inputs, tools and methods used.

The scale of 1:10 000 of the orthophotos helps reduce overestimation of the surface used for farming, because it gives a details digitization of the area studied and minimizes the inclusion of non-farming areas. The surface in the State of Guanajuato used for farming dropped by 155 004 ha (5%) in regard to the study carried out in 2007.

The most important source of water in the state is the pumping of wells, covering 26% of the surface. However, there is a tendency to decrease, due to the reduction in the content of water tables.

The updated map of soil use contributes to decision-making. It acts as input for generating actions in the sustainable use of natural resources such as water and soil, it provides accurate knowledge on land use, the dynamic of change and its causes.

*End of the English version*



La carta actualizada de uso del suelo contribuye a la toma de decisiones. Sirve de insumo para generar acciones en el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales como son: agua y suelo del estado. Aporta conocimiento preciso sobre el uso del suelo, la dinámica de cambio y sus causas.

## AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a los Fondos Mixtos de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica FOMIX-CONACYT y a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado de Guanajuato por el financiamiento otorgado para la ejecución de la presente investigación. Un agradecimiento especial a todas las personas involucradas en la ejecución del proyecto y del presente artículo, gracias, sin su apoyo este trabajo no hubiera sido posible.

**LITERATURA CITADA**

- Barr, S. L. and Barnsley, M. J. 1999. A syntactic pattern-recognition paradigm for the derivation of second-order thematic information from remotely sensed images. *In: Atkinson, P. M. and Tate, N. J. (eds). Advances in remote sensing and GIS analysis.* John Wiley and Sons. England. 167-184 pp.
- François, J. M.; Velázquez, A. y Couturier, S. 2008. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM. Morelia, Michoacán, México. 117 p.
- García, N. H.; García, D. R. R.; Moreno, S. R. y González, R. A. 2002. Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970-1997 en Guanajuato. Instituto de Geografía. UNAM. D. F., México. Boletín. Núm. 47. 92-112. p.
- García, N. H. y Martínez, L. G. 2005. Sistema de consulta del uso actual del suelo en Guanajuato. INIFAP. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del estado de Guanajuato. CD-ROM.
- García, N. H. y Martínez, L. G. 2007. Uso de ortofotos para actualizar el mapa de uso del suelo en Guanajuato, México. *Agríc. Téc. Méx.* 33(3):271-280.
- Hinton, J. C. 1999. Image classification and analysis using integrated GIS. *In: Atkinson, P. M. and Tate, N. J. (eds). Advances in remote sensing and GIS analysis.* John Wiley and Sons. England. 207-218 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1993. Modelo de datos vectoriales. Dirección General de Geografía. Aguascalientes, México. 8-11 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2004. Especificaciones para la extracción de datos geográficos digitales. Dirección General de Geografía. Aguascalientes, México. 7-80 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2006. Cuéntame. UTL: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/Gto/Territorio/default.aspx?tema=ME&e=>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2007. Información Geográfica. URL: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/prodyserv/ortomapa/ortomapa.cfm?c=201>.
- Ortega, G. M. A. 2008. Situación del agua subterránea en dos regiones del estado de Guanajuato, ubicadas dentro de la cuenca Lerma-Chapala: implicaciones sociales, legislativas, políticas y económicas. Primera edición. Universidad del estado de Guanajuato. Salamanca, Guanajuato, México. 219 p.
- Plan de Gobierno, 2006-2012. Gobierno del estado de Guanajuato. Contigo vamos. Tomo I. Empresa, empleo y competitividad. 86-87 pp.
- Rosete, F. y Bocco, G. 2003. Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. *Gaceta ecológica.* 68:43-54.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1993. Características de los Distritos de Desarrollo Rural de México. Coordinación General de Delegaciones. D. F. México. 302 p.
- Unidad de Desarrollo Agrícola CEPAL . 2005. "México desempeño agropecuario y mercado laboral. 1994-2004". 2004. URL: <http://www.guanajuato.gob.mx/gestiones/romerohicks/cuarto/buengobierno/upie.pdf>.
- Wikipedia. 2009. La enciclopedia libre. Google Earth. URL: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Google.Earth&oldid=29828954>.