

## USO DE ORTOFOTOS PARA ACTUALIZAR EL MAPA DE USO DEL SUELO EN GUANAJUATO, MÉXICO\*

### USE OF ORTOPHOTOS FOR UPDATE THE LAND USE MAP IN GUANAJUATO, MEXICO

Hilario García Nieto<sup>1§</sup> y Gilberto Martínez León<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Potencial Productivo, Campo Experimental Bajío, INIFAP. Km. 6.5 carretera Celaya-San Miguel de Allende. 38010 Celaya, Guanajuato, México. <sup>2</sup>Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado de Guanajuato. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: inifapnieto@prodigy.net.mx

#### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue actualizar el mapa de uso del suelo y clasificar las áreas por su aptitud y potencial para la producción de maíz de temporal en el estado de Guanajuato, México. El estudio se realizó durante 2004-2005. Se utilizaron 242 ortofotos generadas en 1993-1994 a escala 1:20 000, las cuales se actualizaron a nivel municipal. Se utilizó ArcExplorer 2.0 para el despliegue y consulta de las ortofotos; éstas, ya impresas, fueron actualizadas con información de campo y se digitalizaron y georreferenciaron de acuerdo con la proyección Universal Transversa de Mercator al utilizar los parámetros Datum y Esferoide WGS84. El uso del suelo se clasificó en: agrícola de temporal y riego, áreas urbanas, cuerpos de agua y de otros usos. Se observó una disminución en la superficie agrícola de temporal y un aumento en la de riego. El área urbana aumentó de 57 000 ha en 1997 a 104 000 en 2005. La intersección de los mapas de uso actual del suelo con los de potencial productivo de maíz de temporal permitió determinar con precisión las superficies con alto, medio y bajo potencial. Con las ortofotos digitales, los sistemas de información geográfica y la verificación en campo, fue posible clasificar con precisión el uso actual del suelo en Guanajuato, México.

**Palabras clave:** Conocimiento local, herramientas de SIG, disponibilidad de humedad, ortofoto digital.

#### ABSTRACT

The objective of this study was to update the current land use map and to classify the areas accordingly to its potential for maize production under rainfed conditions in the state of Guanajuato, Mexico. The study was carried out from 2004 to 2005. 242 ortophotos obtained during 1993 and 1994 in a 1:20 000 scale and updated at the county level, were utilized. The ArcExplorer 2.0 program was used to display and work with the ortophotos. The printed ortophotos were updated with information collected in the field and digitalized and positioned with the Universal Transverse of Mercator with the parameters Datum and Spheroid WGS84. The land use then was classified in: Rainfed agricultural land, irrigated agricultural land, urban areas, water bodies and of other uses. In comparison with the previous map the area with rainfed agriculture decreased while the irrigated land increased. The urban areas increased from 57 000 ha in 1997 to 104 000 ha in 2005. The intersection of the updated land use maps with the potential production maps allowed for a precise quantification of the high, medium and low levels of land aptitude for maize production under rainfed conditions. With the use of digital ortophotos, geographic information systems and direct field verification, it was possible to update and classify the land use in Guanajuato, Mexico.

**Key words:** Local knowledge, GIS software tools, moisture availability, digital ortophoto.

\* Recibido: Abril de 2006  
Aceptado: Octubre de 2007

## INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el estado de Guanajuato, realizó una clasificación de tierras por su aptitud para el cultivo de diferentes especies, sin tomar en cuenta el uso actual del suelo. Lo anterior, además de sobreestimar la superficie, condujo a proponer especies de importancia pecuaria y forestal como alternativa para el aprovechamiento de tierras agrícolas; para algunas áreas de uso pecuario y forestal se sugirió el cultivo de especies agrícolas. Los programas gubernamentales de apoyo al campo requieren conocer las modalidades en que se subdividen las tierras de uso agrícola. Se consideró necesario actualizar los estudios sobre el uso del suelo con el propósito de proponer acciones de reconversión productiva en forma específica y de acuerdo a las posibilidades reales.

García *et al.* (2002) señalaron que se elaboraron mapas digitales de uso del suelo a partir de imágenes de satélite Landsat TM, en las que sólo se delimitaron, de manera visual, las áreas de uso agrícola, pecuario y forestal, urbanas y cuerpos de agua. En dicho estudio no se distinguió el área agrícola de riego con la de temporal, debido a que en la fecha en que se generaron las imágenes (época de sequía), el área irrigada presentó una gran variación espacial y temporal, por lo que sólo se detectaron siembras bajo riego en parte de la superficie. No obstante, los mapas fueron útiles para delimitar la clasificación de las tierras por su aptitud y potencial para el desarrollo de cultivos agrícolas y de especies de importancia pecuaria y forestal.

En los estudios sobre uso del suelo es importante tener en cuenta la diferencia que existe entre los términos “cobertura del suelo” y “uso del suelo”. La cobertura, describe los objetos que se encuentran sobre un territorio determinado y su distribución, mientras que el uso del suelo se refiere a la actividad socioeconómica que se desarrolla en un territorio con una determinada cobertura de suelo (Bocco, 2003). Se ha considerado que las ortofotos digitales, son más apropiadas para delimitar la cobertura del suelo que el uso del suelo (Barr y Barnsley, 1999). Las razones para utilizar ortofotos digitales en la actualización de mapas de uso del suelo son: a) cuentan con las características geométricas y de referencia geográfica necesarias para utilizarse como mapas, a diferencia de las fotografías aéreas originales (USGS, 2003), b) las técnicas de interpretación de ortofotos digitales con apoyo del “conocimiento físico del área de estudio” han sido ampliamente utilizadas, práctica poco usual con

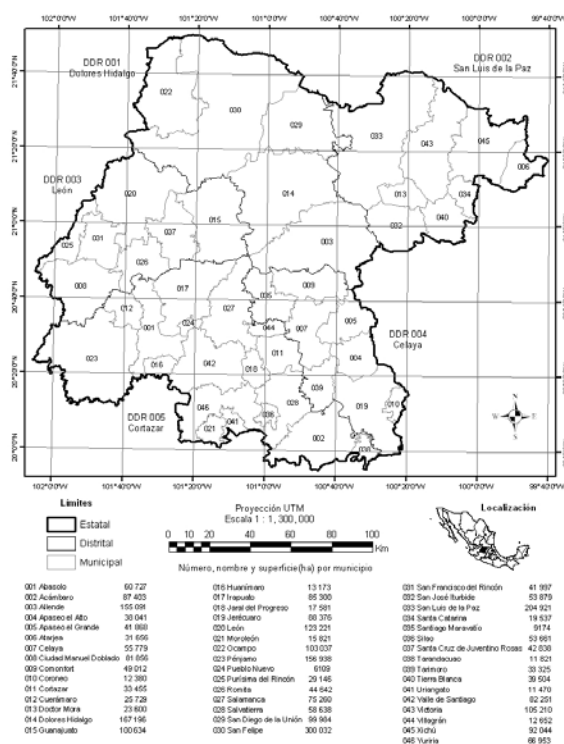
imágenes de satélite (Barr y Barnsley, 1999) y c) el software actual de SIG permite combinar las ortofotos (información raster) con información vectorial y datos tabulares, con lo cual es posible mejorar el procedimiento de interpretación (Hinton, 1999).

El objetivo de este trabajo fue actualizar, por medio de ortofoto digital, los mapas de uso actual de suelo, y clasificar las áreas de acuerdo con su aptitud y potencial para la producción de maíz de temporal en Guanajuato.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estado de Guanajuato tiene una superficie de 30 629 km<sup>2</sup> y se localiza entre 19° 55' 16" y 21° 50' 16" de latitud norte y entre 99° 39' 52" y 102° 07' 17" de longitud oeste. Comprende 46 municipios agrupados en cinco Distritos de Desarrollo Rural (DDR): 048, en Dolores Hidalgo; 049, en San Luis de la Paz; 050, en León; 051, en Celaya, y 052, en Cortázar. A nivel local dichos DDR se identifican con los números 001, 002, 003, 004, y 005, respectivamente (Figura 1).



**Figura 1. Marco geoestadístico y Distritos de Desarrollo Rural en el estado de Guanajuato, México.**

Con la colaboración de los jefes de los DDR, con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), se designaron cinco “coordinadores de programación”, uno para cada DDR, su función fue cotejar y corregir en su caso la información de las ortofotos con la de campo en base al conocimiento del área.

### **Capacitación a los técnicos participantes**

Se realizaron cinco talleres de capacitación, uno en cada DDR, dirigido a los técnicos con el siguiente contenido: a) elaboración de cronogramas de actividades en las que participarían como responsables, b) capacitación para el procedimiento de instalación del ArcExplorer 2.0, despliegue y consulta de las ortofotos digitales y de información complementaria para facilitar la clasificación [Distritos de Riego (DR), pozos profundos, cuerpos de agua permanentes y temporales, división política, mapa de puntos de las poblaciones de más de tres viviendas (INEGI, 2001) y gradícula de cartas a escala 1:50 000]. El manejo de esta herramienta fue de gran utilidad para clasificar los diferentes usos del suelo sobre las ortofotos, ya que permitió realizar acercamientos e impresiones de apoyo para el trabajo de campo, c) se determinaron seis tipos de agricultura, de acuerdo a su disponibilidad de humedad, y se asignó un color a cada una de ellas para su identificación. Se instruyó a los técnicos para realizar la delimitación de cuerpos de agua y las poblaciones compactas (no viviendas aisladas) y por diferencia obtener la clase “otros usos”. También se explicó la fecha de generación de las ortofotos y la necesidad de identificar y actualizar los cambios recientes en el uso del suelo y d) se entregó al coordinador de cada DDR la información y materiales siguientes: un respaldo en formato “bil” de las ortofotos digitales, un respaldo de la información complementaria en formato “shapefile”, ortofotos impresas por municipio a escala 1:20 000 y los materiales necesarios para la delimitación e identificación de las clases.

### **Impresión de ortofotos digitales**

Ortofoto digital es la imagen generada a través de computadora a partir de una fotografía aérea de la cual se eliminaron los desplazamientos debidos a la orientación de la cámara y al relieve del terreno (Wikipedia, 2007). Para cubrir la superficie del estado de Guanajuato se utilizaron 242 ortofotos digitales a escala 1:20 000 en formato de 6' 40" de longitud por 7' 30" de latitud (23.2 por 27.7 cm). En este formato cada ortofoto equivale a 1/6 de una carta a

escala 1:50 000 y cubre 156 km<sup>2</sup> INEGI (2000). La mayoría de las ortofotos fueron generadas en 1993 y 1994 y algunas en fechas posteriores. Las ortofotos de cada municipio (mosaicos) fueron unidas y recortadas de acuerdo con el límite municipal correspondiente. Se imprimieron las ortofotos recortadas con la información complementaria sobrepuesta. Finalmente los mapas de salida se imprimieron a escala 1:20 000 en tonos de grises.

### **Delimitación de clases**

El técnico responsable de cada municipio delimitó el uso actual del suelo sobre las ortofotos impresas con base en el conocimiento del área, la información complementaria, recorridos de campo y en algunos casos con la ayuda de autoridades ejidales y productores.

### **Procesamiento digital**

Las ortofotos impresas con los trazos del uso actual del suelo se digitalizaron. Para unir los trazos de los municipios impresos en varias hojas se utilizaron los cruces de la gradícula como referencia (tics) y su posterior georreferenciación de acuerdo con la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), utilizando los parámetros Datum y Esferoide WGS 84. A cada área delimitada (polígono) se le asignó una etiqueta en la que se indicó la clase de uso del suelo correspondiente. De esta manera, fue posible desplegar los mapas preliminares para cada polígono y conocer automáticamente: perímetro, superficie y clase de uso del suelo.

Para generar los mapas a nivel DDR y estatal, fue necesario empatar los mapas preliminares de cada municipio con los de municipios vecinos y asegurar la continuidad de los trazos. La falta de continuidad entre algunos municipios se debió a omisiones de trazos y al diferente grado de detalle con que se elaboraron los polígonos. Estos errores se corrigieron con la eliminación de los trazos detallados o con la adición de los trazos faltantes.

### **Verificación en gabinete y campo**

Los mapas preliminares se cotejaron con la siguiente información de referencia: estudio previo de uso del suelo, cartas topográficas 1:50 000, DR y pozos profundos. La verificación en campo se enfocó a las áreas en las que se observaron discrepancias entre los mapas preliminares y la información de referencia. Los puntos a verificar se localizaron con el apoyo de un geoposicionador (GPS).

En algunos casos fue necesario averiguar si un predio se utilizaba para la producción agrícola o estaba abandonado. Las correcciones efectuadas se anotaron sobre las ortofotos impresas por municipio. Los mapas digitales preliminares corregidos se digitalizaron de nuevo en la tableta digitizadora o directamente en el monitor de la computadora.

### **Impresión de mapas**

Se editaron e imprimieron mapas de municipios (46), distritos (5) y del estado (2) en papel tamaño Arch E. Las superficies correspondientes a cada clase de uso actual del suelo para cada nivel de agregación (municipal, distrital y estatal), se obtuvieron a través del Sistema de Información Geográfica (SIG). En agosto de 2005 se realizó una reunión para la entrega de los productos y evaluación del proyecto. A cada jefe de DDR se entregaron los mapas distritales y municipales correspondientes; y a los representantes de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SDA) y SAGARPA, los mapas estatales. Además, se entregó a los asistentes el CD-ROM: “Sistema de consulta del uso actual del suelo en el estado de Guanajuato” (García y Martínez, 2005). Este sistema incluye el SIG ArcExplorer para poder desplegar y consultar los mapas digitales (shapefiles) de uso del suelo en los tres niveles de agregación mencionados. También se incluyeron los mapas editados en tamaño carta en formato “jpeg” así como las superficies por clase de uso del suelo mediante hipervínculos con hojas de cálculo.

### **Uso actual del suelo**

La aptitud potencial para la producción de maíz de temporal en Guanajuato se determinó con dos criterios: la combinación de rangos del índice precipitación/evaporación de junio a septiembre y la profundidad del suelo de acuerdo con (Turrent *et al.*, 1986; González *et al.*, 1990; García *et al.*, 2004). Con las bases de datos digitales sobre los dos criterios contenidas en el SIG (resolución de 1.0 ha) se acotaron las áreas a través de la reclasificación de los mapas digitales que presentaron la variación total. Mediante álgebra de mapas se clasificaron las áreas en función del grado con que reunieron los criterios. De esta manera se clasificó la superficie total del estado en cinco clases: muy buena, buena, mediana y baja aptitud, así como el área considerada no apta.

En 2005, se analizaron las superficies de cinco hectáreas o menos con muy buena y buena aptitud, en áreas de alto potencial productivo beneficiadas con el “Programa de

Apoyo a Productores de Maíz y Frijol (PROMAF)”, y se compararon las áreas clasificadas con alto potencial para maíz de temporal antes y después de realizar la intersección con el mapa de uso actual del suelo. El proceso de intersección es una operación que se utiliza para integrar dos conjuntos de datos espaciales y conservar sólo los parámetros que están dentro del ámbito común (ESRI, 1999). Este proceso se realizó mediante la operación “Intesect” en el SIG, se indicó el mapa de entrada (aptitud potencial para maíz de temporal), el mapa con que se intersectó (uso actual del suelo) y el nombre del mapa de salida. El mapa de salida conservó la base de datos común para ambos temas, lo que permitió ubicar y cuantificar los polígonos con información de ambos. Es importante señalar que es necesario que los mapas a intersectar, sean generados con el mismo marco geoestadístico y tengan la misma georeferenciación, para lograr la mayor exactitud en la intersección y en el cálculo de superficies.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Uso actual del suelo**

De acuerdo con las cartas de uso del suelo del Centro de Estudios del Territorio Nacional (1973-1974) la superficie agrícola en el estado de Guanajuato fue de 1 466 769 ha (García *et al.*, 2002); en 1993 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) reportó 1 254 097 ha (SARH, 1993) y en este estudio se calcularon 1 174 561 ha. Estas cifras representan 48, 41 y 38% del área estatal, respectivamente. Esta reducción es contraria a lo reportado para el período 1950-1980 mediante datos censales (Soto y Soto, 1990), en donde se observó una ampliación del área agrícola y una reducción de área pecuaria y forestal. La disminución del área agrícola se atribuye principalmente al abandono de tierras de temporal degradadas, las cuales se suman al área de uso pecuario-forestal. Algunos casos fueron corroborados durante las verificaciones de campo y se asociaron principalmente a la migración de los productores a Estados Unidos de América (Zaragoza, 2007). Para aseverar lo anterior, es necesario generar un índice de abandono de tierras agrícolas de temporal por municipio o por Área Geoestadística Básica (AGEB) y relacionarlo con el índice de migración publicado por el INEGI.

La proporción de la superficie agrícola bajo riego se incrementó de 29% en 1973, a 33% en 1993 (SARH, 1993); en este estudio (2005) se determinó en 43%, lo cual

indica que se incorporaron áreas agrícolas de temporal a la agricultura de riego. Sin embargo, la superficie bajo riego puede disminuir por la escasez de agua y el crecimiento de las áreas urbanas e industriales.

Actualización de los mapas de uso del suelo

La superficie agrícola de temporal y riego para cada DDR se presenta en el Cuadro 1. Destaca la importancia del DDR 005 con 42% de la superficie agrícola total y 57% de la superficie bajo riego. Es conveniente aclarar que los límites municipales oficiales coincidieron en gran medida con los rasgos limítrofes de las ortofotos digitales; sin embargo, se detectaron algunas discrepancias que se tradujeron en áreas faltantes en algunos municipios y sobrantes en otros. La falta de coincidencia sugiere la necesidad de una revisión y ajuste del marco geoestadístico actual para utilizarlo con mayor exactitud en estudios a escala menor de 1:50 000.

Cuadro 1. Superficie agrícola de temporal y riego por Distrito de Desarrollo Rural en el estado de Guanajuato, México. 2005.

Distrito de Desarrollo Rural	Superficie agrícola (ha)		
	Temporal <sup>1</sup>	Riego <sup>2</sup>	Total
001 Dolores Hidalgo	191 324	66 472	257 796
002 San Luis de la Paz	60 531	22 873	83 404
003 León	120 009	64 491	184 500
004 Celaya	89 705	64 593	154 298
005 Cortazar	210 019	284 545	494 563
Total	671 588	502 973	1 174 561

<sup>1</sup>Agricultura de temporal y enlames; <sup>2</sup>Gravedad, gravedad-auxilio, bombeo de pozos profundos, bombeo directo de cuerpos de agua y riego con aguas residuales.

La localización de las clases de uso actual del suelo en el estado de Guanajuato se observa en la Figura 2 y las superficies de cada clase por DDR en el Cuadro 2. La agricultura de temporal incluye dos modalidades: las áreas en que se siembran cultivos en primavera-verano, principalmente con maíz, sorgo y frijol durante el período de lluvias de junio a septiembre y las áreas donde además de los cultivos de primavera-verano se hace una segunda siembra

con humedad residual en otoño-invierno, dando prioridad al garbanzo. En esta clase también se incluyeron pequeñas áreas inundables durante el período de lluvias, conocidas como “enlames”, que se siembran en invierno con lenteja y trigo, principalmente. En la actualidad la superficie agrícola de temporal está disminuyendo; no obstante, es la clase agrícola con mayor extensión y distribución en el estado, predominantemente en laderas. Las pequeñas superficies de enlames se localizaron en el Distrito 004, en los municipios de Jerécuaro, Apaseo el Alto y Comonfort.

El área con agricultura de riego se subdividió en cuatro clases: gravedad de presas y bordos, bombeo de pozos profundos, bombeo directo de cuerpos de agua y con aguas residuales. En la mayor parte de las áreas de riego se realizan dos cultivos, el primero en el ciclo primavera-verano, primordialmente con maíz, sorgo y hortalizas, y el segundo en otoño-invierno principalmente con trigo, cebada y hortalizas. El tipo de riego más utilizado es el bombeo de pozos profundos. Las principales áreas con riego por gravedad se encuentran en los DR 011, Alto Río Lerma y 085 La Begoña. El primero beneficia varios municipios del DDR 005 con agua de la presa Solís y el segundo al municipio de Celaya en el DDR 004, con agua de la presa Ignacio Allende. Las áreas con mayor extensión de riego con aguas residuales se ubican cerca de las ciudades de León, en el DDR 003 y Celaya, en el 004.

El área urbana total presentó el mayor crecimiento. La superficie de esta clase en 1973 fue de 24 283 ha, (CETENAL, 1973), y en 1997 de 57 695 ha (García *et al.*, 2002) y en 2005 de 104 296 ha. Es conveniente aclarar que en los dos primeros trabajos las áreas urbanas fueron clasificadas de acuerdo con los criterios establecidos por el (INEGI 2000), mientras que en este estudio se incluyeron los grupos compactos de viviendas y se excluyeron las localidades con viviendas aisladas. Las áreas urbanas con mayor crecimiento se ubicaron en el corredor industrial de los DDR 003, 004 y 005.

En una investigación previa, se consignó que la superficie ocupada por cuerpos de agua permanentes fue de alrededor de 16 000 ha (García *et al.*, 2002). En este estudio se delimitaron cerca de 28 000 ha, debido a que se incluyeron los cuerpos de agua no permanentes que impiden la actividad agrícola. Por su trascendencia y variación espacial y temporal, los cuerpos de agua superficiales deben ser estudiados en forma particular. En este análisis se hizo énfasis en la clasificación del uso del suelo del área agrícola, por lo que la clase “otros

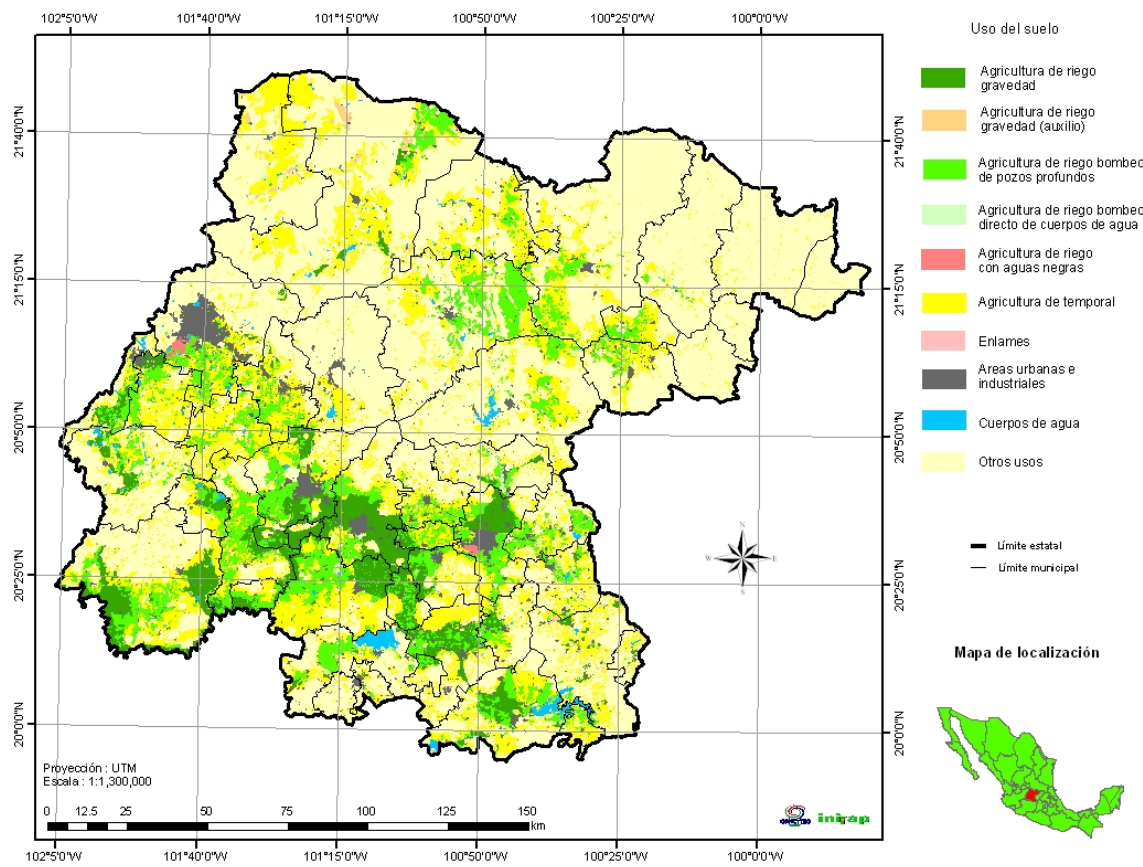


Figura 2. Uso actual del suelo en el estado de Guanajuato, México. 2005.

Cuadro 2. Superficie en ha de las clases de uso actual del suelo por Distrito de Desarrollo Rural en el estado de Guanajuato, México. 2005.

Distrito de Desarrollo Rural	Agricultura de riego					Agricultura de temporal	Áreas inundables ("enlames")	Áreas urbanas	Cuerpos de agua	Otros usos	Total
	Gravedad Completo	Auxilio	Bombeo de pozos profundos	Bombeo directo de cuerpos de agua	Con aguas negras						
001	4199	6643	55 497	133	0	191 324	0	12 018	6127	549 399	825 340
002	0	0	22 873	0	0	60 531	0	5172	142	481 633	570 352
003	13 550	0	48 595	0	2346	120 009	0	32 232	5241	253 183	475 157
004	18 220	0	44 095	1176	1101	87 149	2556	19 259	1847	186 216	361 619
005	140 972	0	143 269	220	83	210 019	0	35 614	14 367	285 909	830 454
Total	176 942	6643	314 329	1529	3531	669 032	2556	104 296	27 724	1 756 340	3 062 921

usos” fue determinada por diferencia y en ella se incluyeron las áreas de uso pecuario y forestal.

### Aptitud potencial

La superficie por clase de aptitud potencial para maíz de temporal sin intersectar con el uso del suelo se presenta en el Cuadro 3, columna 1; otra es la superficie resultante de intersectar y acotar al área agrícola de temporal, que se presenta en la columna 2. En la columna 3 está la diferencia entre las dos primeras y se muestra la sobreestimación de la superficie que se obtiene cuando la clasificación de la aptitud no se restringe al área agrícola de temporal. La mayor sobreestimación se observó en la superficie agrícola de temporal con potencial alto (suma de muy buena y buena productividad) con 79%. El subtotal en la tercera columna indica una sobreestimación general de 69%.

**Cuadro 3. Superficie por clase de aptitud potencial para maíz de temporal con y sin intersección con el uso del suelo.**

CAP	SIS (ha)	IUSAT (ha)	SE (ha, %)
Muy buena	1303	456	847 (65)
Buena	95 814	19 796	76 018 (79)
Mediana	1 004 233	299 194	705 039 (70)
Baja	451 638	163 213	288 425 (64)
Subtotal	1 552 988	482 659	1 070 329 (69)
No apta	1 509 933	186 373	
Total	3 062 922	669 032	

CAP= Clase de aptitud potencial; SIS= Sin intersectar con el uso del suelo; IUSAT= Intersectada con el uso del suelo y acotada al área agrícola de temporal; SE= Sobreestimación.

La intersección del mapa de aptitud potencial para maíz de temporal con todas las clases de uso del suelo permite explicar la coincidencia entre las clases y los usos del suelo. La coincidencia observada entre las áreas con alto potencial para maíz de temporal y las de práctica agrícola de temporal fue de 21%. Lo anterior se debió a que 50% (48 555 ha) de la superficie con potencial alto se localizó en áreas agrícolas de riego; el 24% (23 779 ha) coincidió con áreas de uso pecuario y forestal, 3% (2839 ha) con las urbanas e industriales, 2% (1468 ha) con cuerpos de agua y menos del 1% con enlames.

Los resultados obtenidos con el procedimiento de intersección sugieren su posible aplicación para: a) seleccionar las áreas agrícolas de temporal, prioritarias para recibir apoyo del programa de reconversión productiva, b) cuantificar y ubicar las áreas con aptitud potencial alta, para la agricultura y tomarlas en cuenta en la planificación de los asentamientos humanos y c) clasificar por “patrón de cultivo” las áreas agrícolas con aptitud potencial alta para agricultura de temporal que cuentan con riego, de tal manera que se aproveche el agua de lluvia en el ciclo primavera-verano y se aplique riego en otoño-invierno; o en su caso, ubicar los cultivos que requieren riego frecuente en las áreas que cuentan con agua de bombeo.

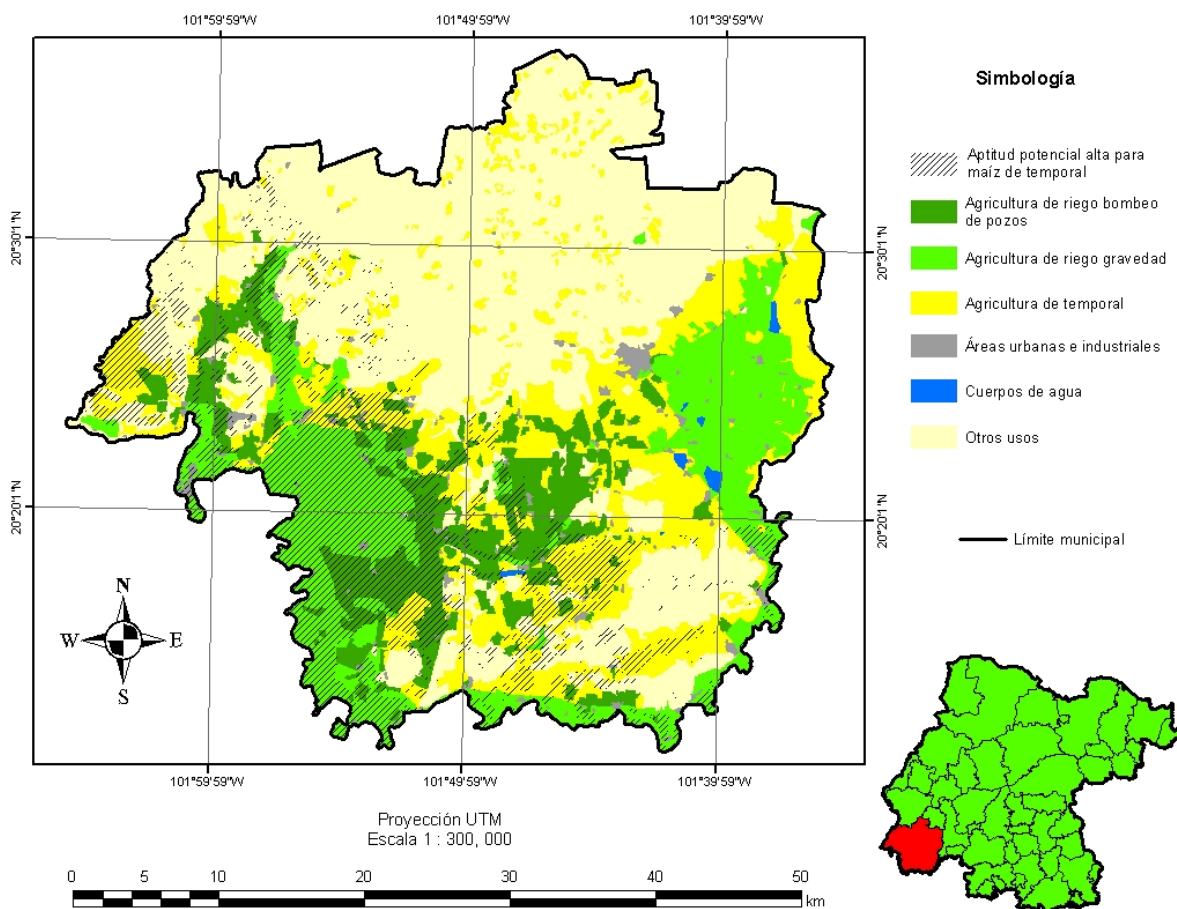
La superficie agrícola de temporal, la de potencial alto, para la producción de maíz de temporal y la que reúne las dos condiciones por municipio se presentan en el Cuadro 4. En los municipios con agricultura de temporal 48% de la superficie se clasificó con potencial alto; únicamente el 10% de ésta cumplió con las dos condiciones.

**Cuadro 4. Coincidencia entre la superficie agrícola de temporal y la superficie con potencial alto para la producción de maíz de temporal por municipio en el estado de Guanajuato, México. 2005.**

Municipio	Superficie (ha)		
	Agrícola de temporal	CPA	Agrícola de temporal CPA
Pénjamo	35 578	36 405	7953
Tarandacua	5658	4068	2356
Ciudad Manuel Doblado	15 356	8138	2022
Acámbaro	22 295	16 534	1698
Tarimoro	8634	5581	1240
Yuriria	10 974	3784	1216
Jerécuaro	21 487	4905	1082
Dolores Hidalgo	32 340	4169	627
Purísima del Rincón	5980	4492	470
Moroleón	1994	2018	430
Salvatierra	17 918	1930	324
Coroneo	3200	891	256
Uriangato	3154	483	234
Cortazar	9445	747	154
Jaral	3692	1151	12
Total	197 706	95 294	20 073

El municipio de Pénjamo presentó la mayor coincidencia entre la superficie agrícola de temporal y la clasificada con potencial alto para maíz de temporal con 7953 ha, sin embargo, también presentó la mayor diferencia entre ambas: 15 216 ha con potencial alto se localizaron en áreas agrícolas de riego por bombeo, 8209 ha en áreas de riego por gravedad, 4450 ha en áreas pecuario-forestal, 566 ha

La intersección de mapas fue una herramienta útil para evitar la sobreestimación de la superficie de cada clase de aptitud potencial y cuantificar las áreas de acuerdo a la condición de humedad. Lo anterior aporta información precisa a los programas gubernamentales de apoyo al campo de manera específica y de acuerdo a las necesidades reales de los productos.



**Figura 3. Coincidencia entre las áreas con aptitud potencial alta para la producción de maíz de temporal y uso actual del suelo en el municipio de Pénjamo, Guanajuato, México. 2005.**

ocupadas por áreas urbano-industrial y 11 ha por cuerpos de agua, Figura 3. Los resultados indican que es posible localizar y cuantificar las áreas con aptitud potencial alta y disponibilidad de riego, para aplicar los programas de apoyo al campo.

## CONCLUSIONES

Mediante el uso de ortofotos digitales, herramientas del SIG y el conocimiento del terreno fue posible clasificar el uso del suelo en el área agrícola del estado de Guanajuato.

El crecimiento de la población y los cambios en las políticas de desarrollo, principalmente en las zonas periurbanas, sugiere la actualización de los mapas de uso del suelo cuando menos cada cinco años, para conocer la dinámica y generar escenarios futuros.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG), por el financiamiento otorgado a través del Fondo Mixto de Fomento para la Investigación



Científica y Tecnológica (CONACYT) Gobierno del estado de Guanajuato, al proyecto del cual formó parte esta investigación. A los jefes, coordinadores de planeación y personal técnico de los distritos de desarrollo rural del estado de Guanajuato, sin cuya participación no hubiera sido posible llevar a cabo este proyecto. A la delegación de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado de Guanajuato (SDA), por su apoyo en la gestión de recursos económicos adicionales para motivar a los técnicos de campo.

## 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. p. 167-184.
- Bocco, G. 1998. Instrumentos para la medición del cambio de cobertura. [En línea]. disponible en: <http://www.oikos.unam.mx/gob.mx/cus/istrumentos.html> (Consulta 7 de agosto de 2003).
- Environmental System Research Institute (ESRI). 1999. ArcView 3.2. ArcView help. Geoprocessing wizard option. [CD-ROM]. Redlands, CA. USA.
- 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 el estado de Guanajuato. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México, D.F. p. 92-112. (Boletín Núm. 47).
- García N., H.; Moreno S., R.; López B., J.; Villers R., M. L. y García D., R. R. 2004. Enfoque de límites difusos (Fuzzy) para clasificación de tierras en especies sin datos de producción. *Agricultura Técnica en México*. 30(1):5-17.
- García N., H. y Martínez L., G. 2005. Sistema de consulta del uso actual del suelo en el estado de Guanajuato. [CD-ROM]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del estado de Guanajuato, Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado de Guanajuato.
- González A., I. J.; Turrent F., A. y Avelaño S., R. 1990. Provincias agronómicas de las tierras de labor bajo temporal en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D. F. 108 p.
- 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. p. 207-218.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2000. Normas técnicas para la elaboración de ortofotos digitales. [En línea]. disponible en: <http://inegi.gob.mx/territorio/español/normatividad/ortofotos/ntecnicas.html> (Actualizado el 19 de mayo de 2000).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2001. Principales resultados por localidad. Estados Unidos Mexicanos. XII Censo General de Población y Vivienda 2000. [CD-ROM]. Aguascalientes, México.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1993. Características de los Distritos de Desarrollo Rural de México, Coordinación General de Delegaciones, México, D. F.
- Solís M., E., Ríos R., S. A.; García N., A. H.; Arévalo V.; Grageda C., O. A.; Vuelvas C., M.A.; Díaz de León T., J. G.; Aguilar A., J. L.; Ramírez R., A.; Narro S., J.; Bujanos M., R.; Marín J., A. y Peña M. R. 2007. Guía para la producción de trigo de riego en El Bajío. INIFAP, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. 80 p. (Folleto Técnico Núm. 3).
- Soto M., C. y Soto M., A. 1990. Cambios recientes en el uso del suelo agrícola en la región de El Bajío, Guanajuato, México. *Geografía y Desarrollo* 2(5):3-11.
- Turrent F., A. 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 165 p.
- United States Geological Survey (USGS). 2003. Digital Orthophoto Quadrangle. [En línea]. Disponible en: <http://wgsc.wr.usgs.gov/doq/index.html> (modificado el 6 de junio de 2003).
- Wikipedia. 2007. Orthophoto. [En línea]. Disponible en: <http://en.wikipedia.org/wiki/Orthophoto> (modificado el 29 de septiembre de 2007).
- Zaragoza M., C. 2007. Actualización del uso del suelo en el Distrito de Desarrollo Rural 003 León, Guanajuato. Tesis de maestría en Ciencias en Protección y Conservación Ambiental. Universidad Iberoamericana. León, Guanajuato, México. 75 p.