

# Seguimiento de los cultivos de regadío en la Mancha Oriental desde 1982 a 1997, utilizando imágenes TM y MSS, en combinación con herramientas SIG.

A. Calera, J. Reyes, C. Martínez y J. Sánchez  
acalera@pol-ab.uclm.es

Sección de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario, s/n. 02070 Albacete

## RESUMEN

El banco de imágenes Landsat TM y MSS ha hecho posible la realización de un estudio de seguimiento de la evolución de los regadíos en la Mancha Oriental, desde 1982 hasta 1997. Para su consecución, se ha aplicado una metodología basada en la clasificación supervisada multitemporal y multiespectral de las diferentes coberturas del área, combinando algoritmos de máxima probabilidad, con criterios de decisión en árbol y clasificadores de contexto. Por último, y para facilitar su manejo, los mapas han sido integrados en un SIG, siendo cruzados con el catastro digital de la propiedad rústica, consiguiendo ligar a la base catastral, los datos obtenidos a partir de teledetección.

**PALABRAS CLAVE:** Acuífero, teledetección, SIG, clasificación de superficies regadas, catastro digital de la propiedad rústica.

## ABSTRACT

Landsat TM and MSS data bank has made possible the development of a study focused on monitoring irrigated land evolution in La Mancha Oriental from 1982 till 1997. To achieve this, methodology based on multitemporal and multispectral classification has been applied. This combines maximum likelihood algorithms with decision-tree criteria as well as context classifiers. To complete the study and facilitate management, maps have been integrated into a GIS, and have been crossed with the rural digital cadaster. In this way, it has been possible to link, all data achieved through remote sensing to the cadastral database.

**KEY WORDS:** Aquifer, remote sensing, GIS, classification, irrigated land evolution, rural digital cadaster.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura de regadío existente en la Mancha se basa casi exclusivamente en la explotación de las aguas subterráneas de la Unidad Hidrogeológica 08-29 "Mancha Oriental". Para la conveniente gestión de los recursos existentes, es de vital importancia, el reconocimiento legal de los distintos aprovechamientos instalados. Para ello es necesario, en primer lugar, el conocimiento de aquellos establecidos con anterioridad al 1 de enero de 1986, fecha de entrada en vigor de la Ley de Aguas (BOE, 1985), y, tal y como se recoge en el Plan Hidrológico de la cuenca del Júcar, (PHJ, 1998), aquellos establecidos con anterioridad al 1 de Enero de 1997.

Las posibilidades de la teledetección en la discriminación de cubiertas vegetales, especialmente entre cultivos de regadío y secano en regiones semiáridas y extensas tales como la Mancha (Calera et al, 1999), la configuran como una herramienta de elección para la realización de este tipo de trabajos.

Por estas razones, en 1998, se firmó un acuerdo entre las Administraciones: Confederación Hidro-

gráfica del Júcar, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, y usuarios agrupados en la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental, junto con la Universidad de Castilla-La Mancha, encaminado a realizar un estudio, que basado en técnicas de teledetección y SIG, reflejara los regadíos existentes y su evolución desde 1982 hasta 1997, configurando un banco de datos compartido simultáneamente por administraciones y usuarios. El seguimiento de los cultivos de regadío se plantea realizarlo en varias escalas. En primer lugar a nivel de todo el acuífero; en segundo lugar a nivel de término municipal, y por último, a nivel de parcela. Para ello es necesario la utilización de herramientas como son los Sistemas de Información Geográfica (Calera et al, 1999) que permiten el cruce de los mapas raster de clasificación con los mapas vectoriales que representan el ámbito espacial correspondiente.

## AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se centra en el acuífero denominado Unidad Hidrogeológica 08-29 Mancha Oriental, situado en el sector sur-oriental de la

Península Ibérica y, más concretamente, en la porción oriental de La Mancha (Fig. 1). Orográficamente se caracteriza por ser una extensa planicie con alturas medias entre 650 y 800 m.s.n.m. El acuífero, se extiende por una superficie de 8500 km<sup>2</sup> (IGME, 1980), entre las provincias de Cuenca y Albacete, abarcando un total de 80 municipios, abasteciendo a cerca de 100000 ha de regadíos instalados con la más moderna tecnología y a una población de 300000 habitantes (Martín de Santa Olalla et al, 1999).



Figura 1. Situación y límites del acuífero de la Mancha Oriental en relación con la península Ibérica y la región de Castilla La Mancha.

## MATERIAL Y METODO

En la realización del presente estudio, se han empleado imágenes procedentes de la plataforma Landsat, de sus sensores MSS y TM. Las fechas de adquisición de las imágenes, así como sus trayectorias, se han recogido en la Tabla 1.

ANO	FECHA	ORBITA	SENSOR	
1982	24/05	215-33	MSS	
	04/08			
1983	06/05	199-33		
	09/07			
1984	24/06	200-33		TM
	10/07	199-33		
	19/07			
	01/06			
1985	11/06	200-33		
	14/08	199-33		
	17/04			
	23/08			
1986	14/06	200-33		
	16/07	199-33		
	10/08			
	04/04			
1996	24/05	200-33		
	25/06			
	12/08	199-33		
	15/04			
1997	15/08	200-33		
	04/05	199-33		
	21/06			
	07/07			

Tabla 1. Características de las imágenes utilizadas en el estudio.

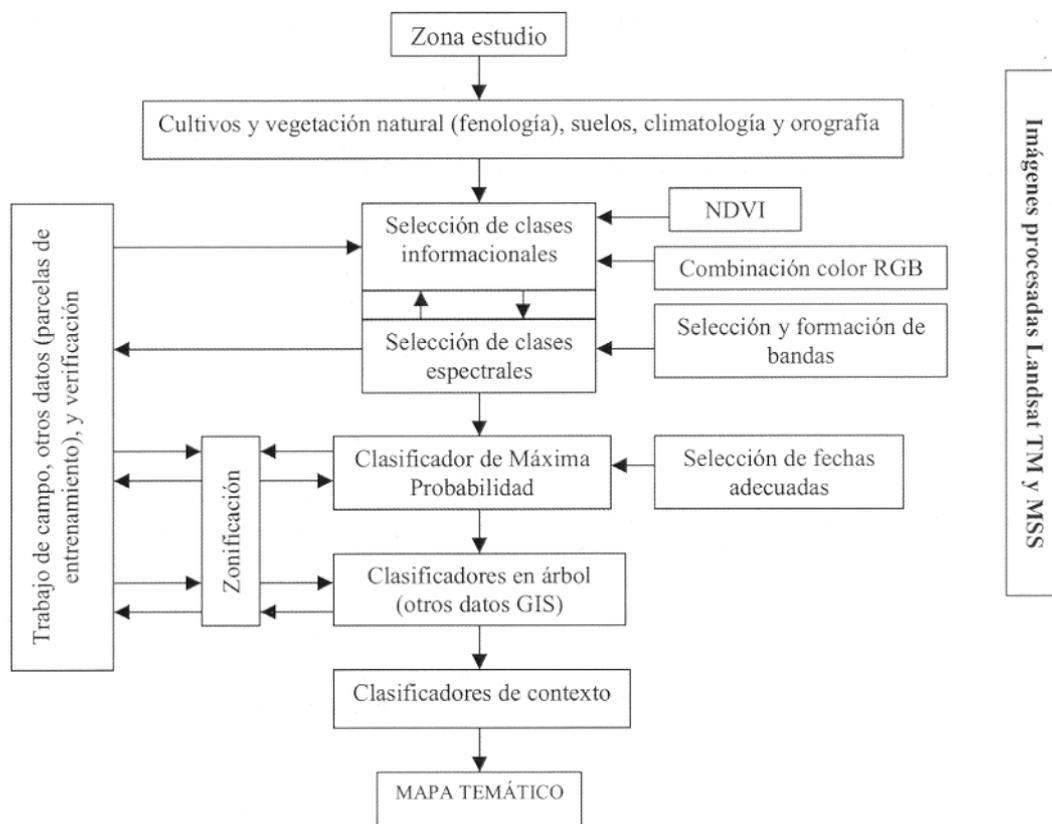


Figura 2. Procedimiento de clasificación aplicado en la identificación de cultivos de regadío.

La totalidad de las imágenes han sido georreferenciadas con un error menor, en todos los casos, de 0.5 píxeles, dada la importancia de la superposición de unas imágenes con otras. Para realizar la clasificación, se ha aplicado una metodología basada en una clasificación supervisada multitemporal, que de forma esquemática se muestra en la Figura 2 (Martínez et al, 1999). En ella se combinan algoritmos de máxima probabilidad, criterios de decisión en árbol y clasificadores de contexto.

El proceso de clasificación desarrollado descansa en la utilización del concepto de trayectoria en el tiempo como elemento de discriminación para un cultivo o grupo de cultivos (Tabla 2). Al disponer de imágenes en diferentes fechas correspondientes a diferentes estados de desarrollo podemos construir una signatura temporal, o trayectoria en el tiempo, para cada cultivo o grupo de cultivos, con base en las parcelas de entrenamiento. Las bandas utilizadas han sido el NDVI y la banda 5 del TM.

Dada la estructura de cultivos y su fenología se ha procedido a la clasificación cuando se ha dispuesto, como mínimo, de una imagen de primavera (mayo) y otra de verano. Así en algunos años no se ha podido realizar la clasificación de todo el acuífero.

Esto ha puesto de manifiesto las limitaciones del Landsat-TM en cuanto a la frecuencia temporal de paso. Es de resaltar en este sentido que una gran parte de los regadíos del acuífero se hallan situados en la zona de solape de las imágenes de recorrido 199/33 y 200/33. Para esta zona se ha dispuesto de un satélite de una frecuencia nominal de paso de 8 días.

Las parcelas de entrenamiento han sido obtenidas mediante trabajo de campo para los años 1996 y 1997. En 1997 se realizó un intensivo trabajo de campo sobre más de 40.000 ha. El conocimiento

del desarrollo fenológico de los diferentes cultivos, junto con las parcelas de entrenamiento han permitido establecer las trayectorias temporales de las diferentes clases. Esto junto con información suministrada por diferentes propietarios, ha permitido en el resto de años del estudio obtener la clasificación. Es de resaltar la utilización del clasificador de contexto, consistente en un filtro de mediana, aplicado postclasificación, que ha conducido a eliminar pixel de borde y aislados, obteniendo una mejor estimación de superficies desde la imagen clasificada.

En referencia a la fiabilidad del proceso de clasificación, se presenta la matriz de confusión final para el año 1996 (Tabla 3). De ella podemos extraer, que la precisión global es del 92.7 %, aunque en lo que se refiere a la discriminación entre regadío y secano, su precisión es del 97%. Datos similares se obtienen para 1997.

Trabajo campo	REGP	REGV	RP-V	Otros	No clasif	Total
REGP	7855	147	103	1027	84	9216
REGV	73	10393	142	453	14	11075
RP-V	37	91	5330	26	3	5487
OTROS	29	65	8	5951	9	6062
TOTAL	7994	10696	5583	7457	110	
Exactitud	97.2	95.5	79.8	tu		

Tabla 3. Matriz de confusión para el año 1996.

## RESULTADOS

A partir de los mapas de clasificación y de la delimitación espacial de cada uno de los términos municipales incluidos en la UH 08.29, se han estimado las superficies en regadío correspondientes a cada una de las clases REGP, REGV, RPV y otros, para cada año y para cada término municipal.

Una vez completado el proceso de clasificación,

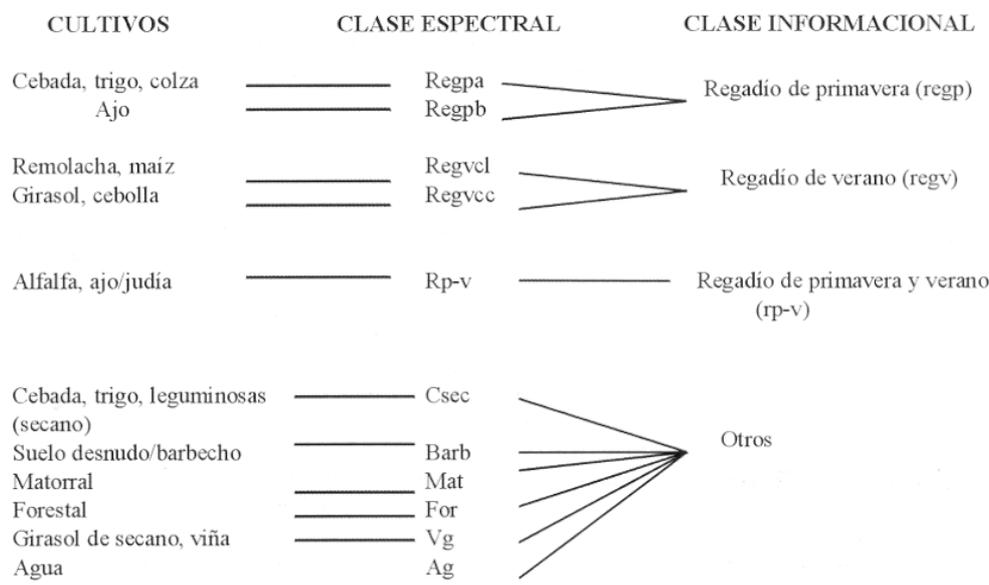


Tabla 2. Relación de cultivos y clases espectral es utilizadas para su discriminación. Asimismo se muestran las clases iinformacionales que constituyen la leyenda de los mapas temáticos en este estudio.

los mapas se integran en un SIG, en donde se superpondrá una nueva capa: el Catastro Digital de la Propiedad Rústica (CDPR). La superficie cubierta por el CDPR disponible abarca más de 210000 ha, en las zonas en que se ubican la mayor parte de los regadíos.

Mediante la intersección de ambas capas de información, que proceden de fuentes distintas y poseen formato diferente (ráster el mapa de clasificación, polígonos el CDPR), se consigue asociar a cada unidad mínima de superficie (subparcela), el cultivo que a través de teledetección ha sido detectado, además de su identificación catastral, como término municipal, polígono, parcela, subparcela, etc. De esta forma se ha generado una tabla en la que figura cada parcela con el cultivo identificado para cada año de consideración. Considerando los resultados a nivel de acuífero, es de resaltar la detección de un importante cambio en la estructura de los cultivos de regadío, ya que en la serie de 1982 a 1986 el peso de los regadíos de primavera supone una media del 12%, mientras que en 1996 y 1997 estos cultivos suponen el 28%. Para dimensionar la importancia de este cambio hay que tener en cuenta que un regadío de primavera consume unos 2500 hm<sup>3</sup>/ha, mientras que un regadío de verano consume sobre 7000 hm<sup>3</sup>/ha. Este cambio en la estructura de los cultivos de regadío se muestra en la Tabla 4.

	Peso de los cultivos de riego (%)						
	1982	1983	1984	1985	1986	1996	1997*
REGV	73.2	82.8	85.4	81.1	78.9	56.8	61.8
REGP	10.6	10.7	10.9	11.2	16.3	30.3	2.15
RP-V	16.2	6.5	3.7	7.7	4.8	13.1	126
TOT	100	100	100	100	100	100	100

**Tabla 4.** Porcentaje de superficie ocupada por cada uno de los cultivos de regadío y su evolución temporal (\*) son aquellos que no están totalmente clasificados, por no disponer de imágenes adecuadas.

Dada la gran cantidad de información correspondiente a los diferentes años analizados, la utilización del SIG ha permitido condensar dicha información en forma de mapas adecuados a los objetivos del convenio. De entre estos *mapas resumen* elaborados, se muestra un ejemplo en la Figura 3.

En este trabajo se ha prestado especial atención a la transferencia de resultados, tanto digitales como en papel, a las diferentes entidades participantes, para lo que estas, en un esfuerzo a resaltar, se han dotado de los medios técnicos (SIG) y humanos que permitieran el análisis y la interpretación de los productos, compartiendo la misma información base las distintas administraciones con competencia en la gestión de las aguas subterráneas y los propios usuarios.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación aportada por la Confederación Hidrográfica



**Figura 3.** Ejemplo de uno de los mapas resumen obtenidos. La clasificación de cultivos de regadío se ha superpuesto a una banda 5 de Landsat TM. También se ha desplegado el catastro digital de la propiedad rústica de los términos municipales de Albacete y Barrax.

del Júcar, la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, y la Junta Central de Regantes. En él se han utilizado tecnología y métodos desarrollados en el ámbito de los proyectos CICYT Hill96-1373 y CICYT CLI95-1887.

### BIBLIOGRAFIA

CALERA, A., MEDRANO, J., VELA, A. and CASTAÑO, S. 1999. GIS tools applied to the sustainable management of water resources. Application to fue acuífer system 08-29. *Agricultural Water Management* 40: 207-220.

CALERA, A., FABEIRO, C., MARTÍN DE SANTA OLALLA, F., RUIZ, J. R. and MOLINA, B. 1999. Monitoring on Farm Irrigation Management by Using GIS and Remote Sensing Techniques. 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water. CIGR, EurAgEng, ICID. Lausanne.

MARTÍN DE SANTA OLALLA, F., BRASA, A., FABEIRO, C., FERNÁNDEZ D. and LÓPEZ, H. 1999. Improvement of irrigation management towards fue sustainable use of groundwater in Castilla-La Mancha. *Agl: Water Manag.* 40: 195-205

LEY DE AGUAS, BOE núm. 189, de 8 de agosto de 1985.

MARTINEZ, C., CALERA, A., RUIZ, J.R. and SÁNCHEZ, J., 1999. Irrigated crop identification and surface estimation with LandsatTM imagery in La Mancha oriental region (Spain). 19th EARSel Symposium.

PHI, 1998. Plan Hidrológico del Júcar, RD. 1664/98.