

Clasificación de imágenes Landsat TM para la estimación de superficies de regadío en la Vega Baja y Campo de Elche, Unidad Hidrogeológica 07.24, (Alicante)

J. C. Gumiel, V. Fabregat, C. Antón-Pacheco, G. Ramos y E. Sánchez
c.pacheco@itge.mma.es

Instituto Tecnológico Geominero de España. Ríos Rosas 23. 28003 Madrid

RESUMEN

Se presenta el trabajo realizado para la estimación de las superficies de regadío en la Vega Baja y Campo de Elche (Alicante). Esta actividad se enmarca en los trabajos de carácter hidrogeológico que el Instituto Tecnológico y Geominero de España está realizando en la zona. La discriminación de las superficies regadas se ha realizado mediante técnicas de clasificación digital de dos imágenes Landsat TM registradas en primavera y verano. La utilización combinada de estas imágenes ha permitido discriminar cítricos, especies arbóreas de hoja caduca, cultivos de huerta y herbáceos. Los resultados obtenidos se han utilizado para estimar los retornos de riego en el modelo matemático que se está elaborando para simular el funcionamiento hidrogeológico del acuífero.

PALABRAS CLAVE: Imágenes Landsat TM, clasificación digital, cultivos de regadío, Vega Baja, Alicante.

ABSTRACT

In the framework of an hidrogeological study in La Vega Baja and Campo de Elche (Alicante), Landsat TM data have been used to map irrigation field surfaces. Two different date images have allowed improving the digital classification of the data. Citrus, deciduous fruit trees, vineyards and crop fields were discriminated despite the moderate spatial resolution of the Landsat data. The availability of the multitemporal data and the rapid obtention of results make this method very adequate to estimate water consumption for irrigation. These data permit to calculate the irrigation water return into the aquifer.

KEY WORDS: Landsat TM images, digital classification, irrigation fields, Vega Baja, Alicante.

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista hidrogeológico, en la Vega Baja del Segura se desarrolla un complejo sistema acuífero que almacena grandes volúmenes de agua subterránea y que actúa como colector de los aportes de otros sistemas adyacentes. En la actualidad existe un potencial de explotación de los acuíferos de la Vega Baja muy superior al que ha habido tradicionalmente, no solo para riego agrícola sino para el aprovechamiento de determinados niveles de aguas salobres en proyectos de desalación a escala industrial.

El Instituto Tecnológico y Geominero de España está realizando un estudio hidrogeológico de la zona sur de la provincia de Alicante mediante un convenio de asistencia técnica con la Diputación Provincial de Alicante. Entre los datos necesarios para la realización del modelo matemático para simular el funcionamiento hidrogeológico del acuífero, hay que considerar el retorno por infiltración de agua de riego. Esta información puede deducirse a partir de las superficies de regadío, utilizando un coeficiente asignado en función de

las características del suelo y la dotación de agua aplicada a los diferentes tipos de cultivo.

La Vega Baja del Segura y Campo de Elche, situadas en la provincia de Alicante, son comarcas de gran interés agrícola, con una superficie total del orden de las 52000 ha de cultivo de regadío, principalmente cítricos, huerta y alfalfa además de otros como frutales y parrales.

Con el objetivo de cuantificar las superficies de los diferentes tipos de cultivo de regadío que hay en cada una de las celdas del modelo, se ha considerado la utilización de imágenes Landsat TM para obtener esta información de una manera rápida y objetiva, con la posibilidad y ventaja adicional de poder mejorar y actualizar estas superficies periódicamente con el tratamiento de imágenes sucesivas.

La zona de estudio está incluida en la Unidad Hidrogeológica Vegas Media y Baja del Segura (U.H. 07.24) y se reparte entre la Cuenca del Júcar y la Cuenca del Segura. Se trata de niveles acuíferos constituidos por el relleno aluvial asociado al río Segura y depósitos coluviales cuaternarios, litológicamente formados por gravas y arenas entre

un conjunto predominantemente arcilloso, con una distribución horizontal y vertical muy heterogénea que puede alcanzar los 250 m de espesor.

A grandes rasgos, este conjunto de materiales alberga dos acuíferos principales, uno libre superficial de poco espesor y otro cautivo profundo, que puede presentar varios niveles. Aguas abajo de la línea Callosa-Benijófar, el acuífero profundo presenta un espesor más reducido. Por otra parte, existen acuíferos asociados a niveles carbonatados alóctonos del Trias y que constituyen las sierras de Orihuela y Callosa.

METODOLOGIA

La mayor parte de los estudios que se realizan con imágenes de teledetección para la determinación de superficies de cultivo utilizan una metodología de toma de segmentos muestrales distribuidos estadísticamente.

En primer lugar, se ha procedido a la creación de una base digital de datos, y posteriormente, se ha realizado la fotointerpretación de distintas combinaciones de bandas e índices de vegetación con el fin de determinar los distintos tipos de cultivos de regadío y definir a partir de estos y el uso del suelo, trece estratos donde se han situado cincuenta y dos segmentos lo que supone una tasa de muestreo del 2,24%. Una vez cartografiados e introducidos en un Sistema de Información Geográfica (SIG) se ha calculado la superficie de regadío mediante estimación directa. Los segmentos se han utilizado como polígonos de control, a los que se les ha aplicado distintos algoritmos de clasificación evaluándose los resultados con datos de campo. A las superficies obtenidas se les ha aplicado un ajuste por regresión directa.

A continuación se han cruzado los datos obtenidos en la clasificación con la malla 1000 x 1000 m del modelo matemático del acuífero con objeto de facilitar los valores estimados para cada una de las celdas.

TRATAMIENTO E INTERPRETACION DE IMAGENES

Entre las imágenes disponibles del área de estudio, se han seleccionado dos cuartos flotantes de imágenes Landsat TM de marzo de 1997 y agosto de 1998. Ambas fechas resultan complementarias para discriminar cultivos permanentes y cultivos temporales.

Como base cartográfica se han utilizado las hojas topográficas a escala 1:50000, del Servicio Geográfico del Ejército, y las correspondientes a la Base Cartográfica Nacional 200 (BCN 200), a escala 1:200000, del Instituto Geográfico Nacional, conteniendo límites provinciales, términos municipales, comunicaciones, red hidrográfica y núcleos de población. Se ha digitalizado el mapa geológico a escala 1:50000, correspondiente a la

zona de estudio. Se han digitalizado los límites provinciales, términos municipales, comunicaciones, núcleos de población, red hidrográfica y límite del sistema acuífero además de la malla del modelo y se han incorporado a un SIG.

Las imágenes se han corregido geoméricamente mediante puntos de control homólogos entre imagen y los mapas topográficos a escala 1:50000. Se ha aplicado un polinomio de segundo grado que ha permitido un ajuste con un error medio del orden de un pixel (30 m). El método de transformación utilizado ha sido el del vecino más próximo. Posteriormente los valores radiométricos se han normalizado con respecto a la imagen de marzo.

En la composición TM (453) de la imagen de primavera se observa una mayor superficie ocupada por cultivos de huerta y herbáceos (maíz, alfalfa, trigo), en avanzado estado de crecimiento en esta fecha. La imagen de verano ha permitido discriminar las distintas especies de hoja caduca (granados, higuera), que en la imagen de primavera no era posible reconocer puesto que en esta época la contribución del suelo es importante en estos campos de frutales. El parral da una respuesta muy alta en la imagen de verano puesto que es cuando alcanza su máximo desarrollo. En ambas imágenes, pueden establecerse diferencias en los cítricos en función de la relación copa/suelo (López-Soria, 1998).

La superposición de los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) de cada una de las imágenes ha permitido establecer la máxima superficie regada en ambas fechas,

Los componentes brillo, verdor y humedad de la transformación Tasseled Cap de las imágenes proporcionan información relevante respecto al estado fenológico y a la humedad del suelo. Las parcelas de huerta y de cultivos herbáceos presentan valores altos en los componentes verdor y humedad debido al pleno desarrollo de la planta y a un riego continuo en estas épocas. Por otra parte, parcelas con valores altos en brillo y humedad, corresponden a campos en transformación con un estado fenológico de nascencia y riego continuo. Los cítricos con relación copa/suelo alta y media pueden diferenciarse por los valores de verdor. En ambos casos presentan valores de humedad menores en primavera que verano.

MUESTREO DE CAMPO

Se ha realizado trabajo de campo con el fin de cartografiar segmentos de 500 x 500 m definidos a partir de la fotografía aérea y las imágenes corregidas. Estos segmentos se han definido como cuartos de las celdas establecidas en la malla del modelo matemático, lo que supone una tasa de muestreo del 2,24%. En los trabajos de campo se han reconocido las áreas tipo con objeto de realizar un muestreo aleatorio simple que permita poder contrastar estas observaciones con la información obtenida de la clasificación digital.

La distribución de los segmentos se ha llevado a cabo mediante un muestreo aleatorio sobre una serie de estratos, realizados a partir de la fotointerpretación de las imágenes y la fotografía aérea. En primer lugar, se ha definido la máscara de áreas no regables, creada a partir de los índices de vegetación y la combinación de bandas, para toda el área de estudio (Figura 1). Sobre esta máscara se han situado cincuenta y dos segmentos muestrales, distribuidos proporcionalmente a la superficie de trece estratos definidos según el uso del suelo, el porcentaje y tipo de cultivo.



Figura 1. Situación de los segmentos de muestreo en los distintos estratos establecidos en el área de estudio.

EVALUACION POR EXPANSION DIRECTA

Se han digitalizado los cincuenta y dos segmentos e incorporado a la base de datos del S.I.G.. Calculándose la superficie total del área, la de los segmentos y la de cada uno de los cultivos. Mediante una hoja de cálculo se ha obtenido la superficie estimada para cada uno de los cultivos por expansión directa, cuyos resultados se presentan en la Tabla 1.

Tipos de Cultivo Muestra	Superficie (ha)	Superficie (ha)	%
	Segmentos	Total	
Invernadero	13	675	1,0
Cítricos	292	15222	22,5
Caducifolios	76	3966	5,9
Parral y Vid	17	875	1,3
Palmeral	15	803	1,2
Huerta	297	15459	22,8
Forrajeros (alfalfa)	37	1941	2,9
Transformación	66	3446	5,1
Total	813	42387	62,7

Tabla 1. Superficie para cada tipo de cultivo estimada por expansión directa.

CLASIFICACION MULTIESPECTRAL

En primer lugar se ha usado un clasificador "ISODATA", utilizando todos los canales del Landsat TM excepto el TM6 (térmico), tanto de las

dos imágenes por separado como juntas. Se han obtenido 29 clases (clusters) que han sido identificadas mediante fotointerpretación de las imágenes y los datos de campo.

En función del grado de cubierta, se han definido tres categorías para los cítricos: cítricos 1, con cubiertas superiores al 70%, cítricos 2, entre 30% y 70% y cítricos 3, entre el 10% y 30%. Se han definido dos categorías de distintas especies arbóreas de hoja caduca: granados e higueras con grados de cubierta mayores y menores del 50%. Se han definido clases para parral, chumbera, cultivos de huerta, cereal (maíz, trigo), palmeral, viveros e invernadero. Además, se ha definido una clase denominada transformación que corresponde a zonas con árboles recién plantados con grados de cubierta <10%. En algunos casos, cultivos de huerta (alcachofa, brecol, etc) pueden aparecer intercalados en otros cultivos arbóreos. Cuando esto ocurre, se han incluido en la clase de cultivos de huerta.

Adicionalmente a los cultivos de regadío, se han definido clases de monte con matorral y arbolado, suelos desnudos (canteras, campos abandonados), vegetación del saladar húmedo de la Laguna del Hondo, distintos tipos de superficies de agua, urbano y cultivos de secano (almendro y olivo), con el fin de discriminar estas superficies de las superficies regadas. Los cultivos de secano presentan unas características espectrales similares a la clase de transformación debido al alto grado de exposición del suelo en los primeros. Se han etiquetado las parcelas de los cincuenta y dos segmentos, asignándoles un valor que corresponde con el número de clase (Tabla 2). Cada uno de los segmentos se ha superpuesto sobre la imagen y se ha extraído la información espectral correspondiente. En este estudio, se ha utilizado la información multiespectral de ambas imágenes de primavera y verano, introduciendo de este modo un criterio de multitemporalidad.

A partir de las parcelas definidas en los segmentos, se ha generado una clasificación supervisada (Figura 2) utilizando un algoritmo de máxima probabilidad de las imágenes de primavera y verano. Para la verificación de los resultados de la clasificación se han utilizado ciento cincuenta y seis puntos tomados aleatoriamente, obteniéndose la matriz de confusión correspondiente.

Debido a la dificultad de discriminación entre algunas de las clases, se han agrupado teniendo en cuenta las más relevantes desde el punto de vista de dotaciones de riego. Así, los cítricos se han unido en una sola clase. El cereal de regadío y los cultivos de huerta se han agrupado para obtener mejores resultados en la clasificación, ya que a efectos de riego pueden agruparse. El palmeral se ha unido con el vivero, pues en la mayoría de estos, predominan las palmeras; los granados e higueras también se han agrupado en una clase denominada caducifolios.

Nº de clase	Clase	Cultivos
1	Invernaderos	Flores y plantas ornamentales, hortalizas (tomates y pimientos)
2	Cítricos1	Cítricos $\geq 70\%$ recubrimiento
3	Cítricos2	Cítricos $\geq 40\%$ $< 70\%$ recubrimiento
4	Cítricos3	Cítricos $< 40\%$ recubrimiento
5	Granado 1	Granados $\geq 50\%$ recubrimiento
6	Granado2	Granados $< 50\%$ recubrimiento
7	Higueral	Higueras $< 50\%$ recubrimiento
8	Higuera2	Higueras $< 50\%$ recubrimiento
9	Parral	Parrales y viñedos
10	Palmeral	Palmerales
11	Viveros	Viveros (palmeras, plantas ornamentales, etc.)
12	Almendros	Almendros $> 30\%$ recubrimiento
13	Olivar	Olivos $> 30\%$ recubrimiento
14	Chumbera	Chumbera
15	Cultivos de Huerta	Algodón, flores y plantas ornamentales, hortalizas (lechuga, alcachofa, acelga etc.), tubérculos (patata, etc.), melón, pimientos (pimentón), barbecho y sembrado
16	Alfalfa	Alfalfa
17	Cereal	Trigo, maíz, avena etc..
18	Huerto	Huertos familiares con cítricos y frutales
19	Transformación	Arboles jóvenes. Cubierta $< 5\%$: cítricos, granados, higueras, frutales, etc.
20	Humedal	Vegetación de saladar húmedo y zonas húmedas
21	Monte bajo	Monte con matorral
22	Monte arbolado	Monte con árboles (pinar, etc.)
23	Erial	Campos improductivos y abandonados
24	Urbano	Carreteras, poblaciones, casas, etc.
25	Abierto	Canteras, suelos desnudos, etc
26	Agua	Balsas, lagunas, etc.
27	Urbanización	Urbanizaciones de casas con parcelas ajardinadas

Tabla 2. Clases utilizadas en la clasificación supervisada a partir del muestreo de campo.

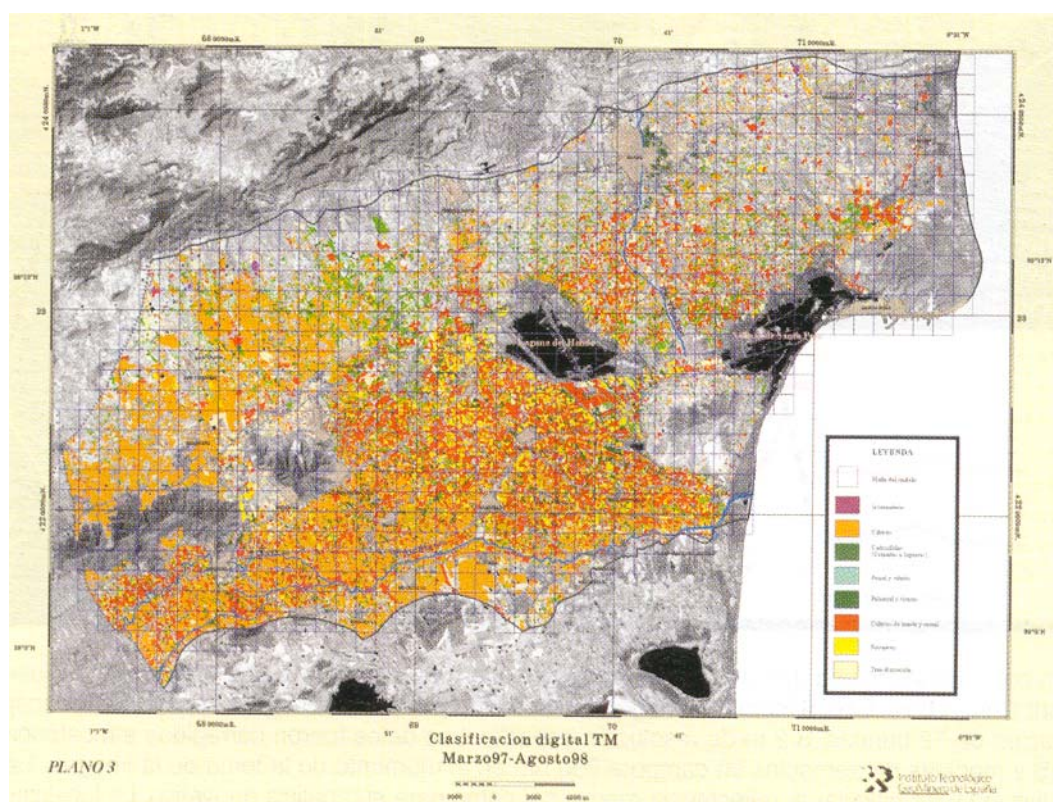


Figura 2. Resultado de la clasificación supervisada.

Los cítricos se discriminan bien, obteniéndose un acierto del 74%, aunque algunos errores de asignación corresponden con las clases de caducifolios y transformación. En el primer caso se debe a la similitud de la respuesta espectral en la imagen de verano. En el caso de transformación puede

deberse a cítricos con una baja relación copa suelo (Cítricos 3).

La clase invernadero es la que presenta una mayor fiabilidad en la clasificación. La clase caducifolios presenta un porcentaje de acierto del 40 % confundiendo con la clase cultivo de huerta. El

parral y vid presenta una fiabilidad intermedia (50 %). La mayor parte de los palmerales y viveros, se confunden con parcelas de cítricos, obteniéndose únicamente un acierto del 22 %. La huerta y los forrajeros, dan un porcentaje de acierto del 67,7% y 47,4% respectivamente. Una parte de la clase de transformación se mezcla con cítricos, como se ha comentado anteriormente, obteniéndose un porcentaje de fiabilidad del 41,7 %.

La clasificación supervisada realizada a partir de los 6 componentes principales de las dos imágenes no mejora los resultados de la clasificación obtenida con las doce bandas originales.

RESULTADOS

Para suavizar la salida cartográfica, se ha utilizado un filtro modal que mejora la exactitud de la clasificación al eliminar las anomalías de celdilla por efecto de borde (Pinilla, 1995).

La estimación final de las superficies ocupadas por los cultivos se ha realizado mediante un ajuste por regresión simple en función de la eficiencia relativa ER. De esta forma, para los cultivos que presentan una $ER \geq 2$ (invernaderos, cítricos, caducifolios, parral y vid, huerta y forrajeros) se ha tomado el valor obtenido por estimación por regresión simple. Cuando no se cumple este criterio (palmeral, y transformación), se ha mantenido el valor obtenido por estimación directa. La superficie total calculada de cultivos de regadío es de 41963 ha, lo que supone el 62 % del área de estudio (Tabla 3). Una vez calculada la extensión superficial del regadío, se han cruzado los datos obtenidos en la clasificación con la malla utilizada en el modelo matemático, y se han calculado los valores de superficie (ha) de cada cultivo por cada una de las celdas del modelo.

CLASE	%	Superficie Estimada (ha)	ER $1/(1-r^2)$
Invernadero	0,37	252	23,96
Cítricos	23,92	16188	6,41
Caducifolios	5,25	3555	2,10
Parral y Vid	0,79	535	13,10
Palmeral	1,19	803	1,58
Huerta	21,84	14784	4,62
Forrajeros (alfalfa)	3,55	2400	5,44
Transformación	5,09	2446	1,28
Total	62,00	41963	

Tabla 3. Superficie en ha de las clases obtenidas en la clasificación y ajustadas por regresión lineal.

CONCLUSIONES

La superficie total de regadío (41963 ha) es comparable a la obtenida por otros autores utilizando estos métodos (Quintanilla, et al 1997), y a la calculada mediante técnicas convencionales (ITGE y Diputación de Alicante, 1996).

La estimación de las superficies de regadío mediante imágenes de satélite y su inclusión en un Sistema de Información Geográfica, han permitido establecer las superficies regadas en cada una de las celdas utilizadas en el modelo matemático del acuífero y calcular las dotaciones correspondientes.

La utilización de imágenes multitemporales es muy adecuada para una mejor estimación de superficies de regadío en zonas agrícolas muy dinámicas. Dada la complejidad y tamaño de las parcelas en el área de la Vega Baja y Campo de Elche, la moderada resolución de las imágenes Landsat TM limita la obtención de resultados más precisos.

AGRADECIMIENTOS

A la Excmá Diputación Provincial de Alicante por la documentación aportada para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ITGE y DIPUTACIÓN DE ALICANTE, 1996. Estudio de los recursos de agua salobre en la zona sur de la provincia de Alicante. Memoria del Proyecto. 298 p.
- LÓPEZ SORIA, S. 1998. El proyecto piloto del registro citricola de España: una aplicación operacional de la teledetección en agricultura. Ordenación del territorio y medio marino. V Reunión científica de la Asociación Española de Teledetección, pp. 621-633.
- PINILLA, C. 1995. *Elementos de Teledetección*. Editorial Rama. 311 p.
- QUINTANILLA, A, CASTAÑO, S, GARCÍA-CONSUEGRA, J, NAVARRO, E y MONSTESINOS, S. 1997. Aproximación al estudio de la evolución temporal de la superficie de regadío en la cuenca del Río Segura mediante técnicas de teledetección y SIG. Teledetección usos y aplicaciones. V Reunión científica de la Asociación Española de Teledetección. Un. Valladolid, pp. 39-46.