

CLASIFICACIÓN MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT-TM PARA LA ESTIMACIÓN DE DEMANDAS HÍDRICAS EN LA ZONA REGABLE DEL CANAL DE ARAGÓN Y CATALUÑA

A.Ruiz-Verdú (*), M.L. Serrano (*), R. Peña (*), J. Rodríguez-Chaparro (*)

Averdu@cedex.es

(*) Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Pº Bajo Virgen del Puerto, 3. 28005. Madrid

(**) Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Ctra. Ajalvir, Km. 4. 28850 Torrejón de Ardoz. Madrid

RESUMEN: Se ha llevado a cabo una clasificación de cultivos en una zona regable de 136.000 ha, utilizando imágenes Landsat-TM de cinco fechas correspondientes a la campaña de riegos del año 1998. Con el mapa de cultivos generado y las dotaciones de riego netas, calculadas a partir de datos meteorológicos, se ha obtenido la demanda de agua por cultivo y por comunidad de regantes. El enfoque multitemporal ha mejorado la exactitud de la clasificación con respecto a trabajos anteriores y ha permitido detectar rotaciones de cultivos.

ABSTRACT: A crop type classification has been made in an irrigation area of 136,000 ha using five Landsat-TM images taken during the irrigation season of 1998. An estimation of water demands has been made using the results of the classification and the water requirements for each crop type, calculated from meteorological data. The multirate approach used, has improved the accuracy of the classification with respect to previous works, allowing the detection of crop rotations.

Palabras clave: teledetección, agricultura, estudios multitemporales, Landsat-TM.

INTRODUCCIÓN: El conocimiento de las necesidades hídricas reales de los cultivos es fundamental para una optimización de las asignaciones de recursos hídricos en las zonas de riego. En muchas de estas zonas, las superficies ocupadas por los distintos tipos de cultivos varían notablemente de un año a otro. La teledetección espacial es una herramienta adecuada para actualizar anualmente los inventarios de cultivos y, a partir de éstos, la estimación de las demandas.

Desde el año 1992, el CEDEX ha llevado a cabo este tipo de estudios para la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), utilizando imágenes Landsat-TM, en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña. La principal conclusión extraída es la necesidad de contar con imágenes de varias fechas dentro de la campaña de riegos para conseguir una

estimación más exacta de la superficie ocupada por los cultivos (Serrano *et al.*, 1997). Este enfoque mejora la discriminación entre los cultivos basándose en su diferente fenología y evita los problemas de infravaloración de superficies.

MATERIALES Y MÉTODOS: Se han utilizado cinco cuartos de escena Landsat-TM (órbita 199, fila 31) correspondientes a cinco fechas del año 1998: 7 de mayo, 23 de mayo, 24 de junio, 10 julio y 11 de agosto. A lo largo del periodo abarcado por las imágenes, se realizó un muestreo, coordinado con la CHE, en el que se obtuvo información del uso del suelo en 118 parcelas, que fueron localizadas con GPS y digitalizadas.

La corrección radiométrica se hizo mediante el método propuesto por Gilabert *et al.* (1994). Su utilidad fue evaluada analizando la correlación de las reflectividades estimadas con las obtenidas de una campaña de mediciones en campo coincidente con una de las pasadas (11 de agosto). La campaña se planificó conjuntamente con el INTA y se utilizó un espectrorradiómetro de campo GER 1500, que abarca la región espectral correspondiente a las cuatro primeras bandas del sensor TM.

La georreferenciación de las imágenes a coordenadas UTM se efectuó mediante un polinomio de primer orden y la asignación se hizo por el método del "vecino más próximo". Una de las imágenes (11 de agosto) se georreferenció a partir de puntos de control extraídos del mapa a escala 1:50.000 (RMS=0,47 píxeles). El resto de las imágenes, a partir de puntos de control extraídos de la imagen georreferenciada (RMS < 0,35 píxeles en todos los casos).

Para la clasificación de cultivos se escogió una metodología similar a la empleada por Schriever y Congalton (1995), que utiliza todas las imágenes conjuntamente y combina el método supervisado y el no supervisado. Como paso previo se aplicó una transformación Tasseled-cap de las 30 bandas originales, utilizando los coeficientes propuestos por Crist y Cicone (1984). Con las 15 bandas resultantes se hizo una clasificación no supervisada utilizando el

algoritmo ISODATA. La asignación de las clases espectrales se hizo mediante la generación de matrices de confusión entre el resultado de la clasificación no supervisada y las 118 parcelas de entrenamiento, estableciendo como criterio de asignación un umbral del 90%. Los píxeles asignados en esta fase se enmascararon, asignándose los restantes mediante clasificaciones supervisadas.

Para la estimación de las demandas hídricas de los cultivos, se calcularon las dotaciones netas de cada uno de ellos utilizando la metodología propuesta por la FAO (Smith, 1990).

Se tomó como estación meteorológica representativa de la zona de riego, la E-9771 Lleida. El método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia fue el de Penman Monteith y para la precipitación efectiva se utilizó el propuesto por Soil Conservation Service del USDA. Los coeficientes de cultivo se evaluaron con el método propuesto por la FAO (Doorembos y Pruitt, 1976) a partir de la fecha de siembra y la duración de las distintas fases de los cultivos anuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: Los valores de reflectividad estimados por el modelo de corrección atmosférica muestran una correlación significativa con los medidos con el espectrorradiómetro de campo en las cuatro primeras bandas del sensor TM ($P < 0,0001$, $r > 0,9$ en todos los casos, $n=9$). El ajuste de las firmas espectrales es bueno en las superficies con vegetación densa y más pobre en el caso de los suelos desnudos (Figura 1). Esto puede ser debido a la mayor variabilidad espacial en la respuesta del segundo tipo de superficies.

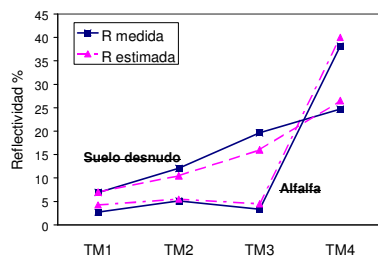


Figura 1.- Comparación de firmas espectrales para dos tipos de superficies

Para el proceso de asignación de las clases espectrales se utilizó una clasificación no supervisada de 41 clases. Se asignaron de forma directa 31 clases. En el proceso de asignación se

redujo de 22 a 12 el número de clases informacionales, agrupándose aquellas que correspondían a usos del suelo similares (cebada y trigo, por ejemplo) y estaban representadas por las mismas clases espectrales.

A continuación se resumen los patrones de evolución temporal de la respuesta espectral de las clases obtenidas, agrupadas en función de su asignación a clases informacionales.

El caso más llamativo es el de la alfalfa, representada por 11 clases espectrales (Figura 2). Esta forrajera recibe varios cortes a lo largo de la campaña de riegos, que se reflejan en cambios de su respuesta espectral. El índice de vegetación de las parcelas de alfalfa disminuye drásticamente tras los cortes por lo que, en una clasificación con una única imagen pueden aparecer como superficies no regadas. En la clasificación multitemporal realizada, la especificidad de las respuestas de la alfalfa hace que su confusión con otros cultivos sea mínima.

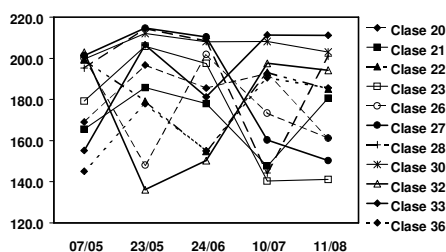


Figura 2.- Variación del componente verdor, de la transformación Tasseled cap, para las 11 clases espectrales correspondientes a alfalfa.

Un segundo grupo de respuestas es el que corresponde a los cereales de invierno. Muestran una caída en los índices de verdor y humedad que se corresponde con el final de su ciclo vegetativo (Figura 3). Su separabilidad respecto del resto de cultivos es también elevada.

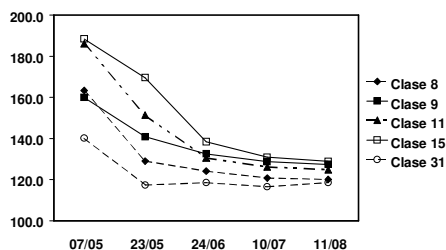


Figura 3.- Variación del componente *verdor* para las 5 clases espectrales correspondientes a **cereal**.

Las clases 11 y 15 solo estaban representadas en parcelas de cereal que habían sido regadas y su confusión con el resto era pequeña. Esto permitió cartografiar de forma separada el cereal en regadío del cereal en secano, siendo mayor la exactitud en la estimación final de las demandas hídricas.

El tercer grupo de respuestas corresponde a los cultivos herbáceos de verano, que en la zona son, mayoritariamente, maíz y girasol (Figura 4). Aunque se diferencian del resto de cultivos, en la clasificación no supervisada aparecen representados por las mismas clases. Para separarlos hubo que realizar una clasificación supervisada en los píxeles de esas clases espectrales. Se utilizaron sólo las imágenes de junio, julio y agosto y las bandas del infrarrojo, en las que las diferencias entre ambos cultivos son más acentuadas

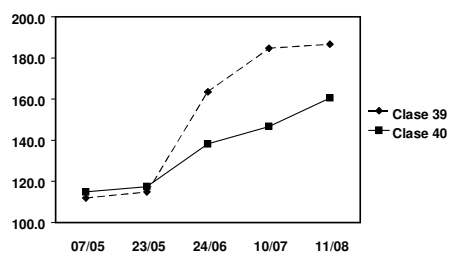


Figura 4.- Variación del componente *verdor* para las 2 clases correspondientes a **maíz-girasol**.

Un cuarto grupo de respuestas agrupa a parcelas en las que se ha producido una rotación de cultivos en la campaña de riegos (Figura 5). El caso más frecuente es la rotación cereal de invierno – maíz o girasol. Estas rotaciones tienen una repercusión en el cálculo de demandas hídricas que sólo puede estimarse llevando a cabo una clasificación multitemporal.

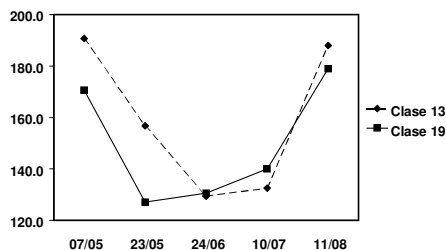


Figura 5.- Variación del componente *verdor* para las 2 clases correspondientes a **rotación de cultivos**.

Otras clases informacionales como el arroz o el agua, presentaban respuestas muy específicas y sin confusión con el resto. En el caso del arroz, destacar que su separación sólo es posible utilizando las imágenes de mayo en las que las parcelas están recién inundadas. Su respuesta espectral en julio y agosto es muy similar a la de maíz y girasol.

El frutal aparece representado por tres clases espectrales “puras”, que se caracterizan por un ligero incremento del “verdor” y una disminución de la “humedad” con el tiempo (Figura 6). Las diferencias entre las tres clases reflejan diferencias en la densidad de las plantaciones.

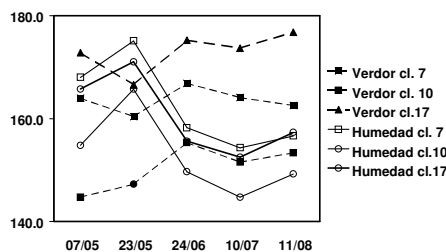


Figura 6.- Variación de los componentes *verdor* y *humedad* para las 3 clases correspondientes a **frutal**.

No se encontró ninguna clase espectral específica para el viñedo, que aparece en tres clases mezclado con el frutal. Con los píxeles de esas clases se llevó a cabo una clasificación supervisada para mejorar la separación viñedo – frutal, utilizando finalmente un criterio geográfico, ya que el viñedo está concentrado en la zona regable en una pequeña zona.

Los usos del suelo agrupados en la leyenda final como “superficies no cultivadas” corresponden a 8 clases espectrales cuyo denominador común es la estabilidad de la respuesta a lo largo del tiempo. Las

zonas con vegetación natural muestran una respuesta similar a la del frutal, pero menos acentuada y con valores más bajos.

La matriz de confusión para las 12 categorías de la leyenda final presenta una exactitud media del 97,7% ($\kappa=0,956$). Los porcentajes más bajos de clasificación correcta son los del viñedo (84,4%) y el girasol (92,4%). En el resto de las clases el porcentaje es superior al 97%.

Los resultados de dedicación productiva y demandas hídricas netas se resumen en la tabla 1.

Cultivo	Superficie (ha)	Dotación neta (m^3/ha)	Demanda neta (Hm^3)
Alfalfa	27147	6530	177
Arroz	709	13345	9
Cereal regado	11818	1908	23
Frutal	21219	5573	118
Girasol	2044	4066	8
Maíz	12308	4188	52
Cereal-girasol	2324	5974	14
Cereal - maíz	2382	6096	15
Viña	1276	4084	5
TOTAL	81226		421

Los resultados anteriores se distribuyeron por Comunidades de Regantes utilizando operaciones de algebra de mapas a partir de una cartografía de las mismas.

CONCLUSIONES: El método de corrección atmosférica utilizado es adecuado para este tipo de trabajos, en los que se estudian los cambios en la reflectividad de los cultivos a lo largo del tiempo.

La correcta estimación de superficies ocupadas por cultivos de regadío mediante teledetección, requiere el uso de imágenes de varias fechas. Este punto es crítico si se pretende realizar una estimación de demandas de agua para riego. La metodología utilizada, basada en el uso conjunto de las imágenes de todas las fechas, ha dado muy buenos resultados, con una elevada exactitud en la clasificación final. Las principales mejoras respecto a clasificaciones anteriores han sido:

- Evitar la infravaloración de la superficie ocupada por alfalfa. Su calendario de cortes, muy variable, produce una gran variedad de respuestas espectrales. Si se utiliza una única imagen, la alfalfa recién cortada no se clasificará como tal.
- Separar el cereal en regadío del cereal en seco en función de su respuesta espectral.
- Estimar la superficie en la que se produce una rotación de cultivos dentro de la campaña de riegos.

- Evitar la confusión que se produce entre las superficies no cultivadas y los cereales en verano, y entre éstas y los cultivos de verano en primavera.

BIBLIOGRAFÍA:

Crist, E.P. and Cicone, R.C. 1984. Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 50, no.3: 343-352.

Doorembos, J. And Pruitt, W.O. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. *Estudio FAO riego y Drenaje*, 24. Roma

Gilbert, M.A., Conese, C. and Maselli, F. 1994. An atmospheric correction method for the automatic retrieval of surface reflectances from TM images. *International Journal of Remote Sensing* 15, no.10: 2065-2086.

Schriever, J.R. and Congalton, R.G. 1995. Evaluating Seasonal Variability as an Aid to Cover-Type Mapping from Landsat Thematic Mapper in the Northeast. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 61, no.3: 321-327.

Serrano, M.L., Ruiz-Verdú, A., Peña, R. y Rodríguez-Chaparro, J. 1997. Aplicación de la teledetección a la estimación de demandas hídricas para riego. *Ingeniería Civil* 108: 55-66

Smith, M. 1990. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. *Land and Water Division. FAO. Roma*