

## EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE ARROZ EN LA PROVINCIA DE HUESCA MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT

M. ANANE, M. A. CASTERAD y J. HERRERO

manane@aragob.es

*Servicio de Investigación Agroalimentaria. Laboratorio de Agronomía y Medio Ambiente.  
Apartado 727, 50080 Zaragoza*

**RESUMEN:** El cultivo del arroz en los regadíos de la provincia de Huesca se ha extendido en los últimos años, alcanzando hoy una gran importancia económica. En el presente trabajo se utiliza la teledetección para cuantificar y cartografiar la superficie de arroz en la provincia de Huesca. Se ha interpretado visualmente y clasificado supervisadamente dos escenas Landsat 5 TM correspondientes a mayo de 1991 y junio de 1996. Los resultados obtenidos se han evaluado mediante: (i) comparación visual con una composición falso color de la imagen, (ii) confrontación de la superficie obtenida en cada municipio con las cifras oficiales de superficie de arroz, y (iii) comparación con información de terreno disponible de un regadío de la provincia. Los dos métodos discriminan el arroz aceptablemente siendo la clasificación supervisada el mejor. La interpretación visual es la más adecuada para la obtención de mapas, siendo además de gran utilidad cuando se dispone de poco tiempo o de escasos recursos económicos, informáticos o de personal. La superficie de arroz ha pasado de 6395 ha en 1991 a 10630 ha superando así en 1996 en más de un 40 % a la de 1991.

**Palabras claves:** teledetección, Landsat TM, interpretación visual, clasificación, arroz.

**ABSTRACT:** The rice crop in the irrigated districts of Huesca province (Spain) has increased in the last years, reaching today a high economic importance. In the present work the remote sensing is used to locate and to quantify the rice crop surface in Huesca province. Two Landsat 5 TM scenes, 20 May 1991 and 18 June 1996, were visually and digitally analysed. The digital analysis was done by supervised and unsupervised classifications. The results obtained were assessed by: (i) visual comparison with the false colour image composite of 5R, 4G, 3B, (ii) confrontation of the surface of rice paddies estimated in each municipality against the available official data, and (iii) comparison with the available ground data of an irrigated district. The three methods for Landsat image analysis gave an acceptable discrimination of the paddies, being the best the supervised classification, followed by the visual interpretation and unsupervised classification. The visual interpretation is the most adequate for producing maps. This method can be useful when little time is available or when economic, personal or computer resources are scarce. The rice area grows of 6395 ha in 1991 to 10630 ha in 1996, overcoming in 1996 by more than 40 % of 1991.

**Key Words:** remote sensing, Landsat TM, visual interpretation, classification, rice.

### INTRODUCCIÓN

La superficie dedicada al cultivo del arroz en la provincia de Huesca ha aumentado considerablemente en los últimos años, colocando al arroz entre los cultivos importantes de la provincia. Además del interés general de conocer la superficie de cualquier cultivo, en el caso del arroz esta información permitiría advenir la estadística de superficies ante la Administración Central española y ante la Unión Europea, tanto a efecto de subvenciones, como si se contabiliza por comunidades autónomas la cuota de arroz contemplada por la Política Agraria

Común (PAC). Por otro lado, al cultivarse el arroz bajo inundación, las repercusiones ecológicas sobre los suelos y las aguas superficiales son muy importantes, resultando clave para cualquier modelo o interpretación del funcionamiento de los regadíos el conocer la ubicación de las parcelas de arroz.

La eficacia de la utilización de imágenes de satélite en la detección de arroz se ha puesto de manifiesto en diferentes artículos, siendo el sensor TM de Landsat uno de las más utilizados. Así, el Servicio de Investigación Agroalimentaria (SIA) ha obtenido buenos resultados

en la discriminación del arroz (Martín-Ordóñez, 1997; Herrero y Casterad, 1999) al aforar y cartografiar cultivos mediante teledetección en diferentes regadíos de la provincia de Huesca. En este trabajo se cuantifican y cartografían mediante teledetección las superficies de arroz en la provincia de Huesca en 1991 y 1996 y se analiza la evolución en superficie del cultivo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron dos escenas 199/31 del satélite Landsat 5 TM correspondientes al 20 de mayo de 1991 y al 18 de junio de 1996.

### Pretratamiento de las imágenes

Las dos escenas se corrigieron radiométricamente mediante sustracción del valor mínimo de ND (Chavez, 1988) y conversión a valores de reflectancia (Chuvieco, 1996). La corrección geométrica se aplicó a una subescena que incluía el área de estudio. Se tomaron puntos de control y se aplicó una función de transformación polinomial de segundo grado. La imagen de 1996 se corrigió sobre hojas del Mapa Topográfico Nacional de escalas 1/25000 y 1/50000, y la de 1991 sobre la imagen del 1996 ya corregida geoméricamente. El error cuadrático medio obtenido fue inferior a un píxel en los dos casos. Después se remuestrearon las imágenes a píxel de 25 m.

Finalmente se aplicó una máscara para extraer de cada escena la imagen correspondiente a la mitad sur de la provincia, territorio donde las condiciones climáticas y las infraestructuras permiten el cultivo del arroz.

### Tratamiento de las imágenes

Se hizo una interpretación visual en una impresión en papel a escala 1:75000 de una composición RGB 457 para la imagen de 1991, y RGB 453 para la de 1996. Se eligieron estas composiciones por ser en las que visualmente mejor se distinguía el arroz de las demás ocupaciones. Las manchas de arroz se delimitaron y digitalizaron según criterios de color y emplazamiento. Se generó una cobertura vectorial que se convirtió a posteriori a formato ráster.

También se hizo una clasificación supervisada. Las áreas de entrenamiento se delinearon directamente sobre la imagen basándose en el conocimiento previo de la zona de estudio, del ciclo vegetativo de los cultivos y de sus respuestas espectrales. Una vez obtenidas y evaluadas las firmas espectrales de las categorías a discriminar, se utilizó el clasificador de máxima verosimilitud para asignar todos los píxeles a alguna de las categorías seleccionadas. Se establecieron 7 clases diferentes en la imagen de 1991 y 13 en la de 1996. En ambos años, una de las clases fue el arroz. Finalmente, se apli-

có un filtro de mayoría de 3 x 3 píxeles para obtener una distribución espacial más nítida.

## Evaluación de los resultados

La discriminación del arroz obtenida por los dos métodos se evaluó mediante: (i) análisis visual, (ii) matrices de confusión y (iii) confrontación con datos oficiales.

En el primer caso se comparó visualmente tanto el arroz discriminado con clasificación supervisada como el discriminado mediante interpretación visual, frente al arroz en una composición RGB 453. En el segundo caso se compararon los resultados obtenidos para 1996 en las aproximadamente 33000 ha del regadío de Flumen (Huesca) con la información de terreno recopilada en un muestreo de terreno hecho por el SIA en dicho regadío. Este regadío se considera representativo de las exactitudes alcanzables en otras demarcaciones de la provincia. La exactitud en la discriminación del arroz se determinó mediante el índice de Helleden (IH) y el coeficiente kappa ( $\kappa$ ) (Congalton, 1991). Por último se compararon mediante análisis de regresión las superficies obtenidas mediante teledetección en cada municipio con las cifras oficiales de la Diputación General de Aragón (DGA, 1992).

Los resultados obtenidos con la clasificación supervisada se incluyeron en una base de datos a partir de la cual se estableció la evolución de la superficie de arroz en la provincia y en cada comarca. Así mismo se cartografió la evolución de la superficie de arroz entre 1991 y 1996 en la provincia a partir de la interpretación visual de las imágenes por ser el mejor método para una salida cartográfica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las superficies de arroz en la provincia de Huesca obtenidas por interpretación visual y clasificación supervisada son respectivamente de 6400 ha y 6395 ha en 1991 y de 11659 ha y 10630 ha en 1996. Estas superficies se distribuyen en cada comarca según se indica en la Tabla 1.

Comarca	1991	1996
Hoya de Huesca	32%	37%
Somontano	0%	1%
Monegros	28%	28%
La Litera	17%	17%
Bajo Cinca	23%	16%

**Tabla 1.** Porcentaje del arroz en cada comarca respecto a la superficie total arrocerca en la provincia de Huesca

## Idoneidad de las fechas de las imágenes

La comparación de visu entre las dos imágenes revela que la imagen de junio tiene más confusiones que la de mayo, probablemente por la fecha de las imágenes. En efecto, tanto el estado vegetativo del arroz, como el del resto de los cultivos, son muy diferentes de una fecha a otra. Mayo es una buena fecha para la discriminación espectral del arroz en la provincia de Huesca. Las parcelas ya se han inundado pero el cultivo todavía no ha nacido, o si lo ha hecho, aún no aparece por encima de la lámina de agua que cubre la parcela. Así, la respuesta espectral en esta fecha se debe al agua y es muy diferente a la del resto de las coberturas. Las confusiones más frecuentes se dan con las masas de agua, si bien se pueden eliminar fácilmente descartándolas mediante máscaras.

En junio la respuesta espectral es más heterogénea ya que hay campos con un desarrollo vegetativo importante, otros donde el cultivo está poco desarrollado y otros en los que aún no ha aparecido por encima del agua. Esto produce una variación espectral mayor y hace más factible la confusión con las demás coberturas. Además en junio se han discriminado más coberturas que en mayo. La semejanza entre la respuesta espectral del arroz y el resto de las coberturas es en algunos casos mayor que en mayo. Por eso las confusiones son más probables y se producen en mayor medida con las coberturas correspondientes a masas forestales, regadío y agua.

Estos resultados apuntan a que en caso de trabajar con una única imagen, la de mayo es la más adecuada para discriminar arroz en Huesca.

Comparación de los dos métodos de discriminación de arroz presentados

El análisis visual de las imágenes clasificadas muestra, en general, una buena coincidencia entre las manchas de arroz discriminadas y las visualizadas en pantalla en la composición falso color para los dos métodos. Las exactitudes obtenidas para el regadío de Flumen son buenas con valores de IH y  $\kappa$  del 84% y 0.80 respectivamente en el caso de la interpretación visual y del 85% y 0.82 para la clasificación supervisada. La comparación con las cifras oficiales también es satisfactoria. Todas las regresiones son significativas a  $\alpha = 0.05$  con coeficientes de determinación altos, indicando que hay relación entre los valores estimados por teledetección y los datos oficiales. Además las pendientes de las rectas son no significativamente diferentes de uno en 1996 a  $\alpha = 0.1$  para la interpretación visual y a  $\alpha = 0.01$  para la clasificación supervisada.

En la interpretación visual los errores de asignación más notables se producen en los límites o bordes de las manchas de arroz, manchas constituidas por varias par-

celas contiguas de arroz. En ocasiones se ha dejado parte sin incluir (error de omisión) y en otras se han incluido parte de las parcelas vecinas (error de comisión). La principal causa de estos errores ha sido la escala 1/75000 del documento sobre el que se delimitaron las manchas de arroz. Otra causa son los posibles errores de interpretación cometidos por el operador en la delineación y digitalización. En el momento de la delineación se encontraron más problemas de decisión al dibujar las manchas de arroz en 1996 que en 1991 debido al estado de desarrollo del cultivo. Todos estos errores se pueden disminuir si se utiliza una salida a escala más detallada, pues en ella se distinguirá cada píxel y se podrá decidir sobre su inclusión o exclusión como arroz. Debe tenerse en cuenta que, si bien esta solución permite distinguir mejor los píxeles individuales, genera una salida menos homogénea, con menor nitidez en los límites o bordes de las unidades. Esto dificulta el trabajo del intérprete pues tiene más posibilidades de asignación y debe fijar más criterios de decisión en la asignación.

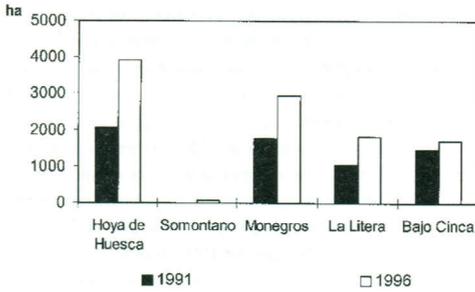
En el caso de la clasificación supervisada y para la imagen de mayo de 1991, los errores son principalmente de comisión, por asignación incorrecta de superficies de agua a la clase arroz en algunos bordes de los ríos, canales y balsas. Con el resto de las clases los errores de comisión son prácticamente nulos. En la imagen de junio de 1996, el arroz ya ha aparecido por encima del agua produciéndose algunos errores de comisión con la vegetación de ribera de los ríos, con los bordes de las lagunas y los ríos y con masas forestales. Los errores de omisión se dan con el agua en algunos enclaves de las agrupaciones arroceras que presentan arroz en fase más tardía de desarrollo.

## Evolución de la superficie de arroz

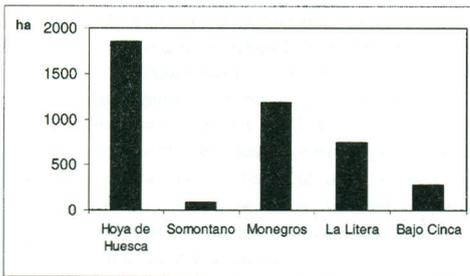
La superficie aumentó en algo más de 4000 ha lo que representa el 40% de la superficie de arroz en 1991.

La combinación de las dos clasificaciones supervisadas (1991 y 1996) denota en qué zonas ha habido cambios. Hay 3195 ha que tenían arroz en 1991 y siguen teniéndolo en 1996, 7435 ha no tenían arroz en 1991 y han pasado a tenerlo en 1996, y 3200 ha tenían arroz en 1991 y no lo tienen en 1996.

Las dos comarcas con mayor superficie de arroz en 1991, Hoya de Huesca y Monegros, son las que han experimentado los mayores aumentos de superficie (Figura 1 y Figura 2).



**Figura 1.** Superficie de arroz estimada por clasificación supervisada de imágenes Landsat en las comarcas de Huesca en 1991 y 1996.



**Figura 2.** Incremento de la superficie de arroz en cada comarca entre 1991 y 1996.

## CONCLUSIONES

La imagen del 20 de mayo de 1991 ha discriminado el arroz mejor que la del 18 de junio de 1996. En mayo las principales confusiones se produjeron con el agua, pero podrían evitarse descontando las masas de agua, balsas y riberas de ríos mediante máscaras. En junio las principales confusiones se dan, además de con agua, con otros cultivos y ocupaciones espectralmente similares al arroz, siendo estos errores difícilmente subsanables.

Los dos métodos ensayados discriminan el arroz aceptablemente. La clasificación supervisada es la mejor. La interpretación visual ha proporcionado también

buenos resultados, siendo la más adecuada para la obtención de mapas. Este tratamiento puede ser de gran utilidad cuando se dispone de poco tiempo o de escasos recursos económicos, informáticos o de personal.

La superficie de arroz en la provincia de Huesca ha aumentado notablemente pasando, según la clasificación supervisada, de 6395 ha en 1991 a 10630 ha en 1996. Esta superficie se encuentra mayoritariamente en los regadíos de Flumen y de Cinca en las comarcas de la Hoya de Huesca y Monegros. El mayor incremento de superficie se ha producido en estas dos comarcas.

Para futuros trabajos se propone utilizar una combinación del método de la interpretación visual con la clasificación supervisada.

## BIBLIOGRAFÍA

- CONGALTON, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- CHAVEZ, P. S. Jr. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24: 459-479.
- CHUVIECO, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp. Madrid. 568 pp.
- DGA. 1992. Superficies ocupadas por cultivos, Huesca, 1991. Trabajos de la Diputación General de Aragón. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes.
- HERRERO, J. y CASTERAD, M. A. 1999. Using satellite and other data to estimate the annual water demand of an irrigation district. *Environmental Monitoring and Assessment* 55: 305-317.
- MARTÍN-ORDOÑEZ, T. 1997. Comparación y evaluación de distintos métodos de clasificación de imágenes Landsat 5 TM, para discriminar cultivos en regadío. Aplicación al regadío de Flumen (Huesca). Proyecto fin de carrera. Universidad de Lleida. 148 pp.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un resultado del proyecto de investigación INIA 97-025-C2-1. El primero de los autores disfrutó de una beca del Instituto Agronómico Mediterraneo de Zaragoza.