Revista de Teledetección. 2001. 16: 5-9.

Las superficies arroceras de Huesca en 1991 y 1996 estudiadas con una imagen anual de Landsat TM

M. Anane, M. A. Casterad y J. Herrero
Correo electrónico: acasterad@aragob.es
Servicio de Investigación Agroalimentaria.
Laboratorio Asociado de Agronomía y Medioambiente (DGA-CSIC)
Apartado 727, 50080 Zaragoza, España

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 cartografíar la superficie de arroz en esa provincia. Se han interpretado visualmente y clasificado supervisada y no supervisadamente dos escenas Landsat 5 TM correspondientes a mayo de 1991 y junio de 1996. Los resultados 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 tres métodos discriminan el arroz aceptablemente, siendo la clasificación supervisada el mejor. La interpretación visual es la más adecuada para la obtención de mapas, resultando 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 en 1996, es decir aumentó en más de un 40% en ese periodo.

PALABRAS CLAVE**:** teledetección, Landsat TM, interpretación visual, clasificación, arroz.

ABSTRACT

The cultivation of rice on the irrigated lands of the province of Huesca (Spain) has increased in recent years, now reaching levels of high economic importance. In this study, remote sensing is used to locate and quantify the rice crop surface in Huesca. Two Landsat 5 TM scenes, taken on 20 May 1991 and 18 June 1996, were visually and digitally analysed. The digital analysis was done with supervised and unsupervised classifications. The results obtained were evaluated by: (i) visual comparison with the false colour image composite of 5R, 4G, 3B, (ii) comparison of the surface area of rice paddies estimated in each municipality against the official data available, 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, the supervised classification yielding the best results, followed by the visual interpretation and the 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, personnel or computer resources are scarce. The surface area dedicated to rice grew from 6395 ha in 1991 to 10630 ha in 1996, an increase of more than 40% during this period.

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 adverar 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 sobre los suelos y las aguas son 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 por diversos autores, siendo el sensor TM de Landsat uno de las más utilizados. Así, el Servicio de Investigación Agroalimentaria (SIA) de Aragón ha obtenido buenos resultados en la discriminación del arroz (Martín-Ordóñez, 1997; Herrero y Casterad, 1999) al aforar y cartografiar cultivos median-

te teledetección en regadíos de la provincia de Huesca con varias imágenes anuales de Landsat TM. El coste y el tiempo de tratamiento se reducirían usando una sola imagen anual.

El presente artículo muestra las posibilidades de una sola imagen anual. Para ello se aforan y cartografían mediante teledetección las superficies arroceras de la provincia de Huesca en 1991 y 1996. Los resultados se aprovechan para analizar los cambios de las superficies en esos años.

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 polinómica 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 geométricamente. 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 cuyas condiciones climáticas e infraestructuras del regadío 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 digitizaron 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 aplicó un filtro de mayoría de 3 x 3 píxeles.

Se ensayaron así mismo diferentes clasificaciones no supervisadas con 5, 10, 20, 25, 27, 30, 40, 50 y 70 clusters. El algoritmo utilizado fue el ISODATA. El mejor resultado se obtuvo con 50 clusters. Éstos se agruparon en clases temáticas a partir de su visualización en una composición RGB 453 de la imagen. El conocimiento del área de estudio y de la respuesta espectral de las principales coberturas ayudó en esta tarea.

Evaluación de los resultados

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

En el primer procedimiento se comparó visualmente el arroz discriminado por cada uno de los tres métodos ensayados, frente al arroz en una composición RGB 453. En el segundo se compararon los resultados obtenidos para 1996 en las casi 33000 ha del regadío de Flumen (Huesca) con la información de terreno recopilada en un muestreo hecho por el SIA en dicho regadío. Flumen se considera, en cuanto a sus cultivos y manejo, representativo de otros regadíos de la provincia. La exactitud en la discriminación del arroz se determinó mediante el índice de Helleden (IH) y el coeficiente kappa (κ) (Congalton, 1991). Por último se compararon mediante regresión las superficies obtenidas por teledetección en cada municipio con las cifras oficiales de la Diputación General de Aragón (DGA, 1992).

Los resultados de 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 superficie de arroz en 1991 y en 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 aforadas por los tres métodos de discriminación ensayados se reflejan en la Figura 1.

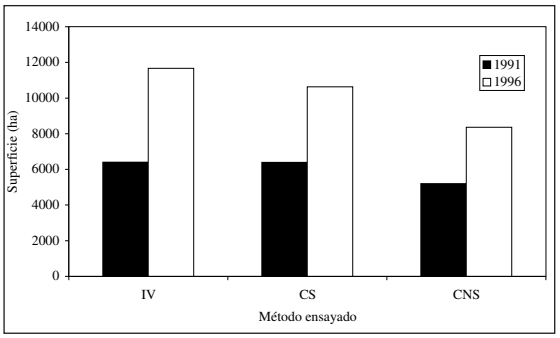

Figura 1. Superficies de arroz en la provincia de Huesca obtenidas por interpretación visual (IV), clasificación supervisada (CS), y clasificación no supervisada (CNS).

La distribución de la superficie arrocera por comarcas 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 arrocera en la provincia de Huesca.

Idoneidad de las fechas de las imágenes

La comparación de visu entre las dos imágenes revela que la de junio tiene más confusiones que la de mayo. 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 esta 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 masas forestales, regadío y agua.

Estos resultados apuntan a que cuando se trabaja con una única imagen anual, la de mayo es adecuada para discriminar arroz en Huesca.

Comparación de los tres métodos de discriminación de arroz presentados

La comparación de visu entre las imágenes clasificadas y la composición falso color denota, en general, la coincidencia en la discriminación del arroz. Las exactitudes obtenidas en el regadío de Flumen son buenas. Para la interpertación visual y la clasificación supervisada alcanzan valores de IH y κ de 84% y 0.80 en el primer caso y de 85% y 0.82 en el segundo. La clasificación no supervisada proporciona exactitudes algo menores, con IH de 78% y κ de 0.73. La comparación con las cifras oficiales también es satisfactoria.

Todas las regresiones son significativas a α = 0.05 con coeficientes de determinación altos, indicando que hay buena relación entre los valores estimados por teledetección y los datos oficiales. Las pendientes de las rectas de regresión en 1991 son significativamente diferentes de 1 en los tres métodos ensayados. En ese año las cifras oficiales se basan en apreciaciones subjetivas de las encuestas 1T, siendo difícil determinar hasta qué punto los resultados obtenidos se ven influenciados por dicha subjetividad. En 1996 no siempre las pendientes de la recta de regresión presentan diferencias significativas, siendo para la interpretación visual no significativamente diferentes de uno a α = 0.1, y para la clasificación supervisada a α = 0.01. En este año las cifras oficiales son más fiables porque se basan en el control de ayudas de la PAC. Ello permite afirmar que la clasificación supervisada es la que más se acerca a las cifras reales.

En la interpretación visual los errores de asignación más notables se producen en los límites o bordes de las manchas de arroz, constituidas por varias parcelas 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 digitización. 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. Los errores de comisión son prácticamente nulos con el resto de las clases. En la imagen de junio de 1996, el arroz ya ha aparecido por encima del agua produciéndose sólo 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 los cotos arroceros que presentan arroz en fase más tardía de desarrollo.

En cuanto a la clasificación no supervisada, los principales errores tanto de omisión como de comisión se producen con el agua y bordes de ríos. Además en los dos años se dan ciertos errores de comisión con masas forestales.

Evolución de las superficies arroceras

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

La combinación de las dos clasificaciones supervisadas (1991 y 1996) denota las zonas donde 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 2 y Figura 3).

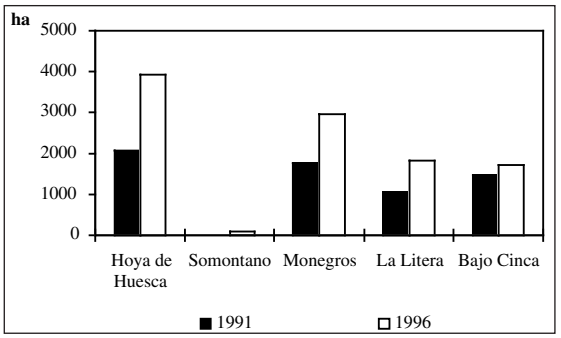

Figura 2. Superficie de arroz estimada por clasificación supervisada de imágenes Landsat en las comarcas de Huesca en 1991 y 1996.

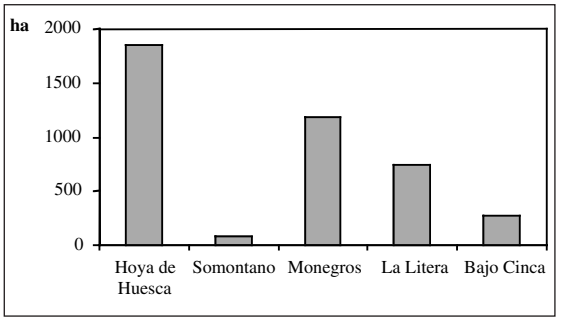

Figura 3. Incremento de la superficie de arroz en cada comarca entre 1991 y 1996.

CONCLUSIONES

Una única imagen anual de Landsat TM ha permitido discriminar las superficies arroceras de la provincia de Huesca.

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 tres 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, informá-

ticos o de personal. La clasificación no supervisada parece menos recomendable.

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. Este arroz se encuentra mayoritariamente en los regadíos de Flumen y de Cinca en las comarcas de la Hoya de Huesca y Monegros. Estas dos comarcas han tenido el mayor incremento de superficie.

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

AGRADECIMIENTOS

Este artículo, ampliación de una comunicación al IX Congreso Nacional de Teledetección, es un resultado del proyecto de investigación INIA 97-025-C2-1. El primero de los autores disfrutó de una beca del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza.

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*. 3.ª edición revisada. 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. Zaragoza.

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 Landast 5 TM, para discriminar cultivos en regadío. Aplicación al regadío de Flumen (Huesca)*. Proyecto fin de carrera. ETSIA. Universidad de Lleida. 148 pp.

NOTICIAS

X Congreso Nacional de Teledetección

PRESENTACIÓN

El **X Congreso Nacional de Teledetección** continúa las reuniones científicas sobre observación de la Tierra que, con carácter bianual, se celebran en España promovidas por la **Asociación Española de Teledetección** (AET). La presente edición, con el lema **Teledetección y desarrollo regional,** tendrá lugar en Cáceres del 17 al 19 de Septiembre de 2003 y está organizada por el **Grupo GRPNS del Departamento de Informática de la Universidad de Extremadura.**

La Teledetección, ha progresado espectacularmente en las últimas décadas debido a la mejora de los sensores, las plataformas y de los sistemas de tratamiento de la información. La mejora de la resolución espectral, espacial y temporal de los sistemas debe ofrecernos nuevas imágenes de mejores prestaciones, el desarrollo de nuevas técnicas de tratamiento de imágenes debe aportar nuevas aplicaciones que sirvan para mejorar las condiciones de vida en las regiones menos favorecidas del planeta.

Debemos plantearnos como un reto, el descubrimiento de nuevas fuentes de riqueza desde la perspectiva privilegiada que permiten los sistemas remotos, y que dicho conocimiento actúe como un motor de progreso.

En este congreso deseamos insistir en el papel que debe asumir la Teledetección para conseguir un desarrollo sostenible mediante la explotación de recursos que se puedan poner de manifiesto mediante nuevas técnicas y aplicaciones.

En esta edición del Congreso, y teniendo en cuenta el lema del mismo **Teledetección y desarrollo regional**, se insistirá en las aplicaciones novedosas que tengan impacto en la mejora de las condiciones de vida.

El Comité Organizador, la AET y la Universidad de Extremadura os agradecen por anticipado vuestro interés por participar en este Congreso.