

# Variabilidad espacial del arroz como cultivo indicador de salinidad en regadíos del valle del Ebro a partir de series temporales de imágenes Landsat TM

J. A. Martínez-Casasnovas y A. Martín-Moreno  
*Dpto. de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo.*  
*Universidad de Lleida. Avda. Rovira Roure, 191. 25198 Lleida*  
*j.martinez@macs.udl.es*

## RESUMEN

El presente trabajo pretende la caracterización de la distribución espacial típica del cultivo de arroz en regadíos del valle del Ebro, donde la presencia del cultivo está ligada a la existencia de suelos salino-sódicos. Esta caracterización ha de permitir identificar las áreas donde es típica la presencia del cultivo año tras año y las áreas donde es frecuente su fluctuación debido tanto a condiciones variables de salinidad del suelo como a variabilidad en las condiciones de mercado. Para ello se ha recurrido al análisis de una serie temporal de mapas de cultivos (7 años) derivados de la clasificación supervisada de imágenes Landsat TM. La determinación de las áreas típicas y de fluctuación del cultivo de arroz se hace entonces a partir del análisis estadístico de clases, y mediante superposición espacial de coberturas en un entorno SIG-Raster.

**PALABRAS CLAVE:** arroz, Landsat TM, series temporales, análisis espacial, SIG.

## ABSTRACT

The present study is dedicated to characterize the typical spatial distribution of rice in irrigation projects of the Ebro valley, where the presence of this crop is linked to the existence of saline-sodic soils. This characterization will allow the identification of areas where rice is typical year after year as well as of areas where rice varies according to the market fluctuations. To perform the analysis, a temporal series of land use maps (7 years), derived from supervised classification of Landsat TM images, was used. The determination of the typical and fluctuation rice areas was then performed from statistical analysis of classes per pixel, deriving majority and variety class maps, and from that spatial overlay of covers in a GIS-Raster environment.

## INTRODUCCIÓN

Desde la época de las diferentes transformaciones de tierras y puesta en regadío llevadas a cabo en la provincia de Huesca a partir de la década de 1950, en concreto en las áreas de Flumen, Monegros y Cinca, el cultivo del arroz ha aumentado considerablemente, llegando a ser uno de los cultivos permanentes e importantes en estos regadíos.

En estas áreas, el cultivo de arroz se asocia a la presencia de suelos salinos y salino-sódicos. En concreto, aproximadamente el 90% de la superficie cultivada de arroz sobre suelos salino-sódicos (Anane, 2000). No obstante, en los últimos años la rentabilidad del cultivo ha propiciado su extensión incluso a tierras más fértiles.

Respecto a la cartografía del cultivo de arroz a partir de imágenes de satélite, diversos trabajos han puesto de manifiesto la eficacia de esta técnica, siendo el sensor TM de LANDSAT el más utilizado (Gilabert y Meliá, 1990; Fang, 1998). En los regadíos del Alto Aragón (Huesca), también varios trabajos de cartografía de cultivos llevados a cabo por el Servicio de Investigación Agroalimentaria de la Diputación General de Aragón, utilizando imágenes LANDSAT TM han mostrado su efectividad para la cartografía del arroz (Casterad, 1997; Barbosa *et alii.*, 1998; Martín-Ordóñez *et alii.*, 2000).

El objetivo del presente estudio es la caracterización de la distribución espacial típica del cultivo del arroz como indicador de la presencia de suelos salini-

nos. Esta caracterización ha de permitir identificar las áreas donde es típica la presencia del cultivo año tras año y las áreas donde es frecuente su fluctuación debido tanto a condiciones variables de salinidad del suelo como a variabilidad en las condiciones de mercado.

El área de estudio es la de los regadíos del Flumen, con una extensión de 33200 ha. Los principales cultivos en esta área son el maíz, la alfalfa, el arroz, el girasol y los cereales de invierno.

## METODOLOGÍA

Para el análisis de la variabilidad espacial del arroz y la determinación de las áreas típicas del cultivo y áreas de fluctuación, se ha utilizado una serie temporal de mapas de usos del suelo de los años 1993, 1994, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000. Estos mapas fueron derivados mediante clasificación supervisada a partir de imágenes LANDSAT-5 TM. Las imágenes fueron procesadas en el Laboratorio de Teledetección del Servicio de Investigación Agroalimentaria de la Diputación General de Aragón. El clasificador utilizado fue el de máxima probabilidad. Previamente, las imágenes fueron corregidas radiométrica y geoméricamente. Las áreas de verdad-terreno fueron seleccionadas de forma automática a partir de segmentos muestreados en campo. Tras la clasificación de las imágenes, se aplicó un filtro de mayoría (Casterad, 1996; Martín-Ordoñez *et alii.*, 2000). Las clases de cultivos identificados en cada uno de los años caracterizados fueron: Cereales de invierno, Arroz, Girasol, Maíz, Alfalfa, Sin cultivo, Coníferas, Agua, Áreas urbanas y Otras clases.

A partir de los mapas de cultivos obtenidos, en formato de malla regular (similar al de las imágenes de satélite), se llevó a cabo un análisis estadístico para determinar el cultivo más frecuente en cada celda de los 7 años de la serie temporal analizada. Este análisis se realizó mediante la función CELL STATISTICS-MAJORITY de Arc-Map 8.1 (ESRI®). Esta función identifica, para cada celda, el valor de clase que más se repite durante los años analizados. En caso de no encontrar ninguna clase mayoritaria el valor resultante es -9999 (No data). Por otra parte, a los mapas de cultivos se aplicó la función CELL STATISTICS-VARIETY. Esta función identifica, para cada celda, el número de clases diferentes que tiene la celda en los años analizados.

Los mapas resultantes (MAYORIA y VARIEDAD), se superpusieron espacialmente mediante la función de tabulación cruzada (CROSSTAB) de Idrisi 32 (Clark Labs®). El resultado de esta operación es una nueva cobertura que muestra, para cada celda, el valor de clase en uno y otro mapa, de manera que se pueden analizar las relaciones espaciales entre clases. A partir de este resultado se pueden identificar las áreas en las que el cultivo del arroz es mayoritario y el número de cultivos con los que se alterna en las rotaciones típicas o no en la zona de estudio. Así, este mapa se reclasificó en 5 clases, asignándole el nombre ARROZTIP (áreas típicas del arroz): (1) Áreas de cultivo permanente de arroz, (2) Áreas de cultivo mayoritario de arroz que alterna un año con otro cultivo o uso del suelo, (3) Áreas de cultivo mayoritario de arroz que alterna con dos cultivos, (4) Áreas de cultivo mayoritario de arroz que alterna con 3 cultivos, (5) Áreas de cultivo mayoritario de arroz que alterna con más de 3 cultivos o usos del suelo, (0) Otros cultivos o usos del suelo.

Para conocer las áreas de distribución fluctuante del arroz, es decir, las áreas no típicas, el mapa ARROZTIP (áreas típicas de arroz) se superpuso espacialmente con cada uno de los mapas de cultivos de la serie temporal analizada mediante la función CROSSTAB (Idrisi 32). De esta forma, para cada año, las áreas no típicas de cultivo de arroz fueron identificadas como las áreas de intersección entre la clase 0 del mapa ARROZTIP con la clase Arroz de los mapas de cultivos. Estas áreas de cultivo no típico del arroz para cada año fueron reclasificadas en un mapa de tipo boleano. Posteriormente, todos estos mapas se sumaron, obteniendo así la frecuencia en años con que las diferentes zonas del área de estudio fueron dedicadas al cultivo de arroz, indicando la fluctuación de este cultivo fuera de las áreas típicas (mapa ARROZFLUC).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los diferentes mapas de cultivos utilizados en el análisis, se desprende que la superficie dedicada al cultivo de arroz puede ser bastante variable a lo largo de los años en el área de estudio (Tabla 1). Esta variabilidad responde, por una parte, a las distintas rotaciones de cultivos en las que interviene el arroz, a las condiciones variables de salinidad de los suelos en diferentes años y a la variabilidad de los precios de mercado.

Año	Superficie de arroz (ha)
1993	2998
1994	2955
1996	4359
1997	4508
1998	3607
1999	1183
2000	3076

**Tabla 1.** Superficie de arroz en el área de regadío de Flumen (Huesca) entre los años 1993 y 2000.

El análisis estadístico espacial de mayoría y variedad realizado a partir de los mapas de cultivos, ha permitido identificar las áreas de cultivo más frecuente de arroz así como las áreas de fluctuación. Estos resultados se muestran de forma generalizada en la Figura 1.

En la Tabla 2 se detallan las superficies de las áreas típicas del cultivo de arroz en el área de estudio. Como se observa en dicha tabla, la superficie total donde el cultivo de arroz está presente la mayoría de los años de la serie temporal analizada es de 3765 ha. En esta superficie, la situación más frecuente es la rotación con barbecho (suelo sin cultivo) y con cereal de invierno, principalmente cebada. La superficie de cultivo exclusivo de arroz es escasa (97 ha).

Variabilidad de cultivos	Superficie (ha)
Arroz	97
Arroz + 1 cultivo/uso	817
Arroz + 2 cultivos/ usos	1502
Arroz + 3 cultivos/ usos	1110
Arroz + más de 3 cultivos/ usos	238
Total	3765

**Tabla 2.** Superficie de las áreas típicas del cultivo de arroz entre 1993 y 2000 (mapa ARROZTIP).

El análisis de las zonas donde el arroz aparece como cultivo menos frecuente se resume en la Tabla 3. El total de esta superficie es mayor que el total de las zonas típicas de arroz, lo cual concuerda con lo encontrado en otros trabajos relativos a esta área de estudio (Anane, 2000). La razón es la siembra de arroz, en determinados años en que las

condiciones de mercado son favorables, en suelos no salinos, como en plataformas y vertientes con buen drenaje.

Frecuencia de años en la misma superficie	Superficie (ha)
1	2731
2	1357
3	417
Total	4505

**Tabla 3.** Superficie de las áreas de fluctuación del cultivo de arroz entre 1993 y 2000 (mapa ARROZFLUC).

## CONCLUSIONES

El análisis espacial realizado a partir de mapas de cultivos derivados de la clasificación supervisada de imágenes Landsat TM ha permitido localizar las áreas típicas de distribución del cultivo del arroz, que se asocian con la presencia de suelos salino-sódicos. Además también se pueden localizar las áreas donde el cultivo fluctúa, con mucha menor frecuencia, por diferentes razones, entre las que destaca la de los precios de mercado.

Sin embargo, el método no identifica directamente las rotaciones de cultivo típicas en las que interviene el arroz, lo cual debe ser objeto de un análisis específico entre años consecutivos de la serie temporal de mapas de cultivo.

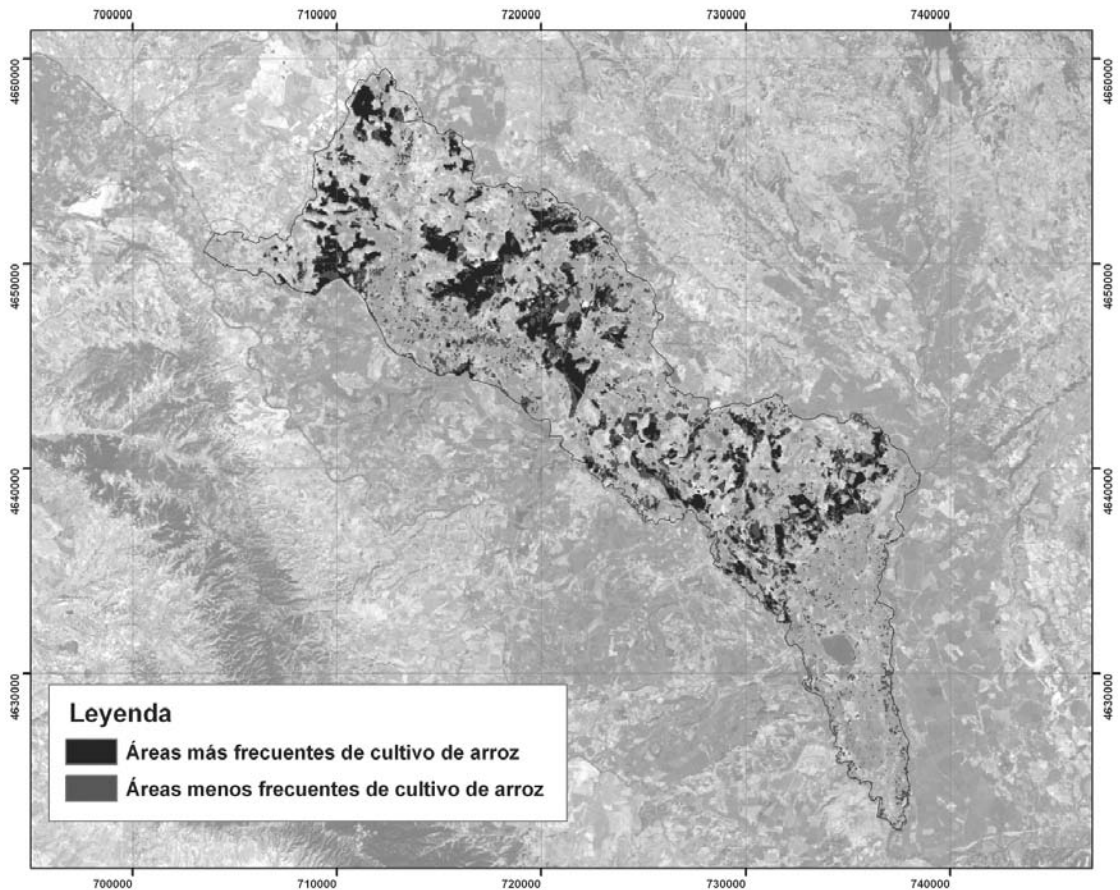
## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto "Detección y seguimiento sistemático de anomalías de desarrollo en cultivos mediante teledetección y SIG" RTA02-095-C3 (Ministerio de Ciencia y Tecnología – INIA). Los autores agradecen también a la Dra. M.A. Casterad, del Servicio de Investigación Agroalimentaria (Diputación de Aragón) la cesión de los mapas de cultivos utilizados en el presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

ANANE, M., 2000. Determinación mediante datos de satélite de la superficie y distribución del cultivo de arroz en Huesca en 1991 y 1996. Tesis de

- Master, CIHEAM - Instituto Agronómico Mediterráneo, Zaragoza, 171 pp.
- BARBOSA, P. M., CASTERAD, M. A., HERRERO, J., 1996. Performance of several Landsat TM images classification methods for crop extent estimates in an irrigation district. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 3665-3674.
- CASTERAD, M.<sup>a</sup> A. 1996. Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales*, 11: 255-279.
- CASTERAD, M.A., 1997. Teledetección y aforo de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada por polígono de riego. Tesis doctoral, Universidad de Lleida, 192 pp.
- GILABERT, M.A., MELIÀ, J., 1990. Usefulness of the temporal analysis and the normalised difference in the study of rice by means of LANDSAT 5 TM image. *Geocarto International*, 4: 17-26.
- FANG, H., 1998. Rice crop area estimation of administrative division in China using remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 3411-3419.
- MARTÍN-ORDÓÑEZ, T., CASTERAD M.<sup>a</sup> A. y HERRERO, J. 2000. Three years of mapping irrigation water in the Flumen irrigation district, Spain. En: Casanova (Ed.). *Remote Sensing in the 21<sup>st</sup> Century: Economic and Environmental Applications*, pp 191-194. Balkema, Rotterdam. 610 pp. ISBN: 90-5809-096-5.



\*Figura 1. Mapa de áreas más frecuentes (áreas típicas, en negro) y menos frecuentes (áreas fluctuantes, en azul) del cultivo de arroz en el regadío de Flumen (Huesca). Periodo analizado 1993-2000.

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color