

Universidad de Lleida

**Teledetección y aforo de superficies de cultivos en
pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada
por polígono de riego.**

M^a Auxiliadora Casterad Seral

(043) v 1997 CAS

1600121617x

Universidad de Lleida
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria



27 MAIG 1997

E: 2348 S:

**Teledetección y aforo de superficies de cultivos en
pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada
por polígono de riego.**



Memoria que presenta M^a Auxiliadora Caslerad Seral
para optar al grado de Doctora

Director de Tesis: Dr. Juan Herrero Isern

Zaragoza, mayo 1997

Mo_56260

Los trabajos que han conducido a la presente Tesis se han llevado a cabo en la Unidad de Suelos y Riegos del Servicio de Investigación Agroalimentaria de la Diputación General de Aragón, dentro de los sucesivos Proyectos de investigación financiados por INIA (8525 y SC93-056) y por CICYT (HID-96-1325), y gracias a las becas concedidas por la Diputación General de Aragón a la autora. La Confederación Hidrográfica del Ebro financió una campaña de trabajos de campo y facilitó los datos de facturación de agua.

Al Departamento de Medio Ambiente y Ciencia del Suelo de la Universidad de Lleida, en la persona de mi tutor el Prof. Dr. Jaime Porta Casanellas, debo agradecer el interés prestado desde el primer momento a la presente Tesis.

La ejecución científica de este trabajo no hubiera sido posible sin el constante apoyo y seguimiento de mi director de tesis, el Dr. Juan Herrero Isern, quién además de realizar una minuciosa dirección de la Tesis ha fomentado tanto mi formación profesional como personal, y me ha brindado su amistad.

Una parte de la presente Tesis ha sido posible gracias a la línea de investigación en necesidades hídricas de los cultivos, iniciada en la Unidad de Suelos y Riegos por el Dr. José María Faci. En especial, debo agradecer al Dr. Antonio Martínez Cob, actualmente en el CSIC, sus críticas y sugerencias, así como el haberme facilitado el acceso a los archivos de datos meteorológicos y el uso del programa de cálculo de necesidades hídricas por él desarrollado.

Tampoco hubiera sido posible la realización de la Tesis sin la colaboración de todas las personas que han trabajado en el Gabinete de Teledetección de la Unidad de Suelos y Riegos del Servicio de Investigación Agroalimentaria, y de los estudiantes que han realizado sus trabajos en dicho gabinete, en especial Paulo M. Barbosa y Teresa Martín Ordóñez.

Quiero expresar también mi agradecimiento a todas las personas que de un modo u otro se han interesado por la evolución de mi trabajo y me han apoyado: familiares, amigos, personal de la Unidad de Suelos y Riegos, personal del Servicio de Investigación Agroalimentaria, y compañeros de viaje.

RESUMEN

Las superficies ocupadas por los cultivos en demarcaciones diferentes a los municipios o agregación de municipios no pueden obtenerse a partir de las estadísticas oficiales españolas. Para la estadística de superficies a nivel regional, la Unión Europea emplea un muestreo por marco de áreas con posterior aplicación de un estimador por regresión con datos de satélite. El método permite estimar las superficies de los cultivos de manera rápida y fiable en cualquier demarcación. Estas superficies se prestan a ser combinadas con las necesidades hídricas de los cultivos para determinar el volumen de agua de riego utilizada en una determinada demarcación. Conocer este volumen es imprescindible en la gestión y control del agua, recurso estratégico, escaso y disputado.

El objetivo de esta Tesis ha sido analizar la aplicabilidad del método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite para la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones de regadío, y su utilidad en la estimación de volúmenes de agua de riego. Para ello, (i) se ha aplicado y adaptado el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite para la estimación de superficies de cultivo a cuatro demarcaciones aragonesas menores de 350 km² (la huerta de diez términos municipales ribereños del Ebro, el nuevo regadío de Quinto y los términos municipales de Alfamén y de La Almunia de Doña Godina en la provincia de Zaragoza; y el regadío de Flumen en la provincia de Huesca); (ii) se han ensayado y evaluado diferentes modos de clasificación supervisada de imágenes Landsat TM en el regadío de Flumen para 1993 y 1994; y (iii) se han estimado los volúmenes de agua de riego anuales (1991, 1993 y 1994) y mensuales en dicho regadío por combinación de las superficies obtenidas para los principales cultivos, y de las necesidades hídricas netas de dichos cultivos estimadas mediante la metodología FAO con datos meteorológicos del año medio y del año en curso.

Quedan aforadas las superficies de los principales cultivos y ocupaciones en la huerta de diez términos municipales ribereños del Ebro y en el nuevo regadío de Quinto para 1990; en el regadío de Flumen para 1990, 1991, 1993 y 1994; y en Alfamén-La Almunia de Doña Godina en 1994. Además, se enumeran y discuten los problemas encontrados al aplicar el método, así como las soluciones adoptadas, dando una serie de recomendaciones para futuros trabajos en regadíos u otras demarcaciones similares a las estudiadas.

Se estiman también los volúmenes de agua de riego anuales y mensuales correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos para 1991, 1993 y 1994 en el regadío de Flumen. La metodología utilizada resulta válida, y los volúmenes obtenidos al combinar las superficies de cultivos estimadas por regresión con datos meteorológicos del año en curso son los más fiables. Los volúmenes así obtenidos están acordes con los facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, con una relación estable entre los facturados y los estimados que oscila entre 1.08 y 1.21 cuando estos se determinan anualmente, y entre 1.05 y 1.35 cuando se calculan mensualmente. Un análisis basado en registros meteorológicos de 21 años y tres escenarios de cultivos (1991, 1993 y 1994) muestra la escasa influencia de estos escenarios en los volúmenes así estimados, siendo la precipitación quien gobierna del volumen de agua de riego.

SUMMARY

In Spain "municipio" is the smallest area where official statistics are obtained. Thus, crop hectareage at areas that are not "municipios" or aggregation of them cannot be obtained from the official statistics. The method of frame area sampling and regression estimator with satellite data, applied by the European Union to regional statistics, allows a quick and reliable crop hectareage for any demarcation. Crop hectareage can be coupled to the net crop water requirements in order to obtain the irrigation water volume used for a specified area. In a semiarid area, like central Ebro valley (Northeastern Spain), water is a strategic, scarce and disputed resource. Determination of irrigation water volume is essential for the control and management of this valuable resource.

The aim of this Thesis is to analyse the applicability of the method of frame area sampling and regression estimator with satellite data in crops hectareages estimates and its utility in irrigation water volume estimates. So that, (i) the method of frame area sampling and regression estimator with satellite data is applied in four areas of Aragón (Spain), all of them smaller than 350 km²; (ii) different kinds of supervised classifications of Landsat TM images from the irrigated district of Flumen (Huesca, Spain) for 1993 and 1994 are tested and evaluated; and (iii) annual and monthly irrigation water volume (1991, 1993, and 1994) are estimated by combining hectareages of each major crop and the net crop water requirements which are estimated by FAO methodology using agrometeorological data of and average and a actual year.

Major crops and other occupations hectareages at the four studied areas are estimated since 1990. The method and the problems found in each step are described and discussed. Indeed, solutions and recommendations for similar studies are included.

Annual and monthly irrigation water volume are estimated for an irrigation district in the valley in 1991, 1993, and 1994. The most reliable irrigation water estimates were obtained by combining the crop hectareages by regression estimator, with actual year meteorological data. Volumes estimated by the above procedure reasonably agree with those invoiced by the water Basin Authority to the frames. The relationship between the invoiced water volumes and our estimates, ranges from 1.05 and 1.35 in annual estimates, and from 1.08 to 1.21 in monthly estimates. The analysis of meteorological data, collected over 21 years, and three different crop scenarios (1991, 1993, and 1994), shows that the different scenarios had hardly any influence on the estimated volume of irrigation water applied, which was dependent on the amount of precipitation.

INDICE

Pág.

MEMORIA

CAPÍTULO I - INTRODUCCIÓN.....	3
I.1.- Antecedentes y objetivos.....	5
I.2.- Referencias bibliográficas.....	13
CAPÍTULO II - METODOLOGÍA.....	17
II.1.- Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones.....	19
II.2.- Evaluación de diferentes imágenes Landsat 5 TM y de varios modos de clasificación supervisada para la discriminación de cultivos.....	51
CAPÍTULO III - RESULTADOS: ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES DE CULTIVOS.....	67
III.1.- Estimación de superficies de cultivos en pequeños regadíos mediante encuesta de terreno y datos de satélite.....	69
CAPÍTULO IV - RESULTADOS: ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES DE AGUA APLICADOS POR POLÍGONO DE RIEGO.....	83
IV.1.- Combinación de datos de terreno, de satélite y meteorológicos para estimar el agua de riego anual por distrito.....	85
IV.2.- Los volúmenes de agua aplicados anual y mensualmente en un regadío estimados a partir de las superficies de los cultivos y de datos meteorológicos.....	95
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES GENERALES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	113

ANEJOS

ANEJO I - Fórmulas de expansión y regresión.....	119
ANEJO II - Segmentos inventariados y su localización.....	123
ANEJO III - Resultados del inventario y de la clasificación.....	131
ANEJO IV - Matrices de confusión.....	159
ANEJO V - Datos agrometeorológicos.....	171
ANEJO VI - Agua de riego facturada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca).....	187
ANEJO VII - Mapas.....	193

Memoria

Capítulo I.- Introducción



I.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El conocimiento de las superficies de los cultivos es imprescindible en muchas actividades relacionadas con la gestión y evaluación del territorio. Para ello se requieren aforos de esas superficies precisos y fiables, de ahí el interés de ir integrando nuevas técnicas y metodologías en la estimación de superficies.

La teledetección espacial es una de estas técnicas. La discriminación de cultivos y otros usos del suelo fue una de las primeras aplicaciones desarrolladas tras el lanzamiento en 1972 del satélite de recursos naturales Landsat 1 (Bauer y Cipra, 1973; Thompson, 1973). Desde entonces múltiples trabajos han utilizado los satélites de recursos naturales para la discriminación de cultivos, por ejemplo, Bauer et al. (1978), Kolm y Case (1984), Townshend (1984), Badhwar et al. (1987), Cuevas et al. (1988), Williamson (1989), Hall-Könyves (1990), Pedley y Curran (1991), Fuller et al. (1994), Prados (1995).

Otra aplicación de los datos de satélite iniciada tras el lanzamiento del Landsat 1 fue la mejora de las estadísticas de cultivos basada en un muestreo del territorio por marco de áreas y un estimador de regresión con los datos de satélite. Ya en 1938 la Universidad de Iowa había construido un marco de áreas para encuestas agrícolas. Según Hanuschak et al. (1982), a partir de 1950, el Statistical Reporting Service empezó a utilizar de modo generalizado fotografías aéreas para construir el marco de áreas. Así, Cotter y Nealon (1987) indican que a mediados de la década de los cincuenta, el Servicio Nacional de Estadísticas Agrarias de los Estados Unidos (National Agricultural Statistics Service) comenzó a investigar su utilización en la estimaciones de superficies de cultivos, siendo operacional en 1965.

Durante 1972-77, el Economics, Statistical and Cooperatives Service de Estados Unidos investiga la capacidad de los satélites Landsat 1, 2 y 3 para mejorar las estimaciones de superficies de cultivo en comunidades administrativas de diferente nivel jerárquico (Hanuschak et al., 1979). En esa década se desarrolló también el Programa LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) con el fin de mostrar el potencial del uso de datos Landsat y meteorológicos en la estimación y la predicción mundial de la producción de cultivos, concretamente de trigo (Hanuschak et al., 1982).

Introducción

En 1972 se comienza a investigar la utilización de la información de satélites para mejorar las estadísticas de cultivos y a desarrollar la metodología necesaria (Hanuschak et al., 1982), que se siguió mejorando y poniendo a punto hasta 1980 mediante diferentes acciones. En este año comienza el programa DCLC (Domestic Crops and Land Cover), dentro del programa AgRISTARS (Agricultural and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing) que investiga el uso de la teledetección aerospacial en la agricultura. Los datos de Landsat se combinan con datos tomados en el terreno de forma convencional obteniéndose, oportunamente y de forma más precisa, una estimación de las áreas de los principales cultivos (Mergerson et al., 1982). En 1982 el programa DCLC calculó por regresión las estimaciones de los principales cultivos en Kansas, Oklahoma, Colorado, Iowa, Missouri e Illinois.

En Europa, el método del marco areolar y estimador por regresión se utiliza para la obtención de inventarios regionales de superficies de cultivo, en la denominada Acción 1 del proyecto MARS (Monitoring Agriculture with Remote Sensing), proyecto piloto de diez años de duración establecido por la Comunidad Económica Europea en 1988 (Delincé, 1988; Joint Research Center, 1995). La estimación de superficies basada en muestreo de marco de áreas es operacional en varios países europeos (I.A.T., 1993) y algunos incorporan también los datos de satélite en la estimación (Touzelet, 1983; Fournier, 1986; C.I.T.A., 1987; I.A.T., 1989).

En España el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (M.A.P.A.) utiliza desde 1990 el muestreo de marco de áreas para la encuesta de superficies y rendimientos. En 1995 fueron diez las Comunidades Autónomas encuestadas por este método (M.A.P.A., 1996). En 1988 y dentro del proyecto MARS, se estimaron en Valladolid y Zamora (regiones piloto) las superficies de cebada y trigo mediante muestreo por marco de áreas corregido mediante un estimador por regresión con datos de satélite (I.A.T., 1989). Otras aplicaciones del método realizadas en España pueden encontrarse en González et al. (1990), S.E.R.N. (1990), Trabajos Catastrales, S.A. (1990), M.A.P.A. (1992, 1993), Ambrosio y Alonso (1993).

Antecedentes y objetivos

Tradicionalmente las estadísticas oficiales de superficies de cultivo en España se han presentado desglosadas por municipios, ello impide tener dicha información en otras demarcaciones de interés no coincidente con los municipios o sus agregaciones. El método del marco areolar permite obtener la superficie para cualquier demarcación seleccionada. Además, el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite permite dar las estimaciones con sus parámetros de precisión y obtener un mapa de cultivos y otras ocupaciones, de ahí su utilidad en la gestión y evaluación del territorio tanto a nivel nacional y comarcal como local.

Sin embargo, las aplicaciones del método en demarcaciones de pequeño tamaño, que habitualmente son las unidades de gestión del territorio, son escasas. Las encuestas sobre superficies y rendimientos de cultivos que el M.A.P.A. publica vienen desglosadas por provincias, y las aplicaciones del método dentro del Proyecto MARS se realizan a nivel regional. Por ejemplo, las cinco regiones piloto seleccionadas en 1988, primer año de estudio del Proyecto, tenían una extensión comprendida entre 18600 y 24300 km² (I.A.T., 1989). De los trabajos realizados en España que se han citado con anterioridad, únicamente dos aplican el método en áreas menores de 1000 km² (González, 1990 y Trabajos Catastrales, S.A., 1990), concretamente en varias áreas de diferentes Comarcas Agrarias de Navarra cuyas superficies varían entre 350 y 890 km². Otra aplicación del método en demarcaciones de pequeño tamaño, pero para un paisaje totalmente diferente al español, es la realizada por Godard (1991) en dos zonas piloto de aproximadamente 420 km² cada una situadas en el Sahel sud-mauritano.

La potencialidad del método en demarcaciones de pequeño tamaño es prácticamente desconocida. En la presente Tesis se aborda este tema, aplicándose el método para la estimación de superficies de cultivo en varias demarcaciones aragonesas menores de 350 km² (Figura 1).

Por otra parte, la actual problemática del agua, recurso estratégico, escaso y disputado tanto en la escena internacional como dentro de España, es motivo de preocupación social. En España el agua de riego supone más del 80% del uso consuntivo (M.O.P.U., 1990). Conocer la disponibilidad y la demanda del agua de riego es por tanto

Introducción

vital en la gestión y control de éste recurso. Las técnicas y métodos de estimación de superficies citados anteriormente son útiles para obtener estimaciones rápidas y fiables de las superficies de los cultivos en regadío, datos necesarios, junto con las necesidades de agua de riego, para determinar el volumen de agua que emplean los regadíos.

Hay diferentes metodologías para determinar la evapotranspiración y las necesidades hídricas de los cultivos (Jensen et al, 1990; Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993; Burman y Pochop, 1994; Elías y Castellví, 1996). Una de las más utilizadas mundialmente, dada la sencillez de los procedimientos que aplica, es la desarrollada en los años setenta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Doorenbos y Pruitt, 1977). Esta misma metodología la han aplicado en Aragón Martínez-Cob al., (1997) para calcular las necesidades netas de riego de los principales cultivos, adaptándola a las condiciones locales. En esta Tesis se muestra un posible método de estimación de volúmenes de agua de riego utilizando la aplicación agrometeorológica ya existente en este momento para Aragón.

El objetivo de la presente Tesis es analizar la aplicabilidad del método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite para la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones de regadío, y su utilidad en la estimación de volúmenes de agua de riego.

El trabajo se presenta en cinco artículos científicos, incluidos en diferentes capítulos de la Tesis. En el Capítulo II se han estudiado aspectos metodológicos relacionados con la estimación de superficies de cultivos por el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite y con la clasificación de las imágenes de satélite y se han obtenido estadísticas de las superficies de los principales cultivos en varios regadíos aragoneses. En el Capítulo III se presentan los resultados obtenidos en 1990 en tres de estos regadíos. Los datos correspondientes a las estadísticas realizadas en 1991, 1993 y 1994 se incluyen en el Apartado II.1. Finalmente se presenta en el Capítulo IV la metodología seguida para la estimación del volúmenes de agua de riego, se discuten posibles mejoras de la misma y se comparan para un regadío concreto los volúmenes de

Antecedentes y objetivos

agua de riego así obtenidos con las facturados anual y mensualmente por la Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E.) en dicho regadío.

La información relacionada con la estimación de superficies de cultivos se encuentra en los Anejos I a III. Las matrices de confusión analizadas para la discusión del Apartado II.2 aparecen en el Anejo IV. Los Anejos V y VI recogen respectivamente la información relativa a la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos y los volúmenes de riego facturados por la C.H.E. en el área de estudio. El Anejo VII presenta, a modo de ejemplo, algunos mapas derivados de la combinación de coberturas, imágenes de satélite y sus clasificaciones.

Introducción



Figura 1.- Localización de las cuatro áreas de estudio.

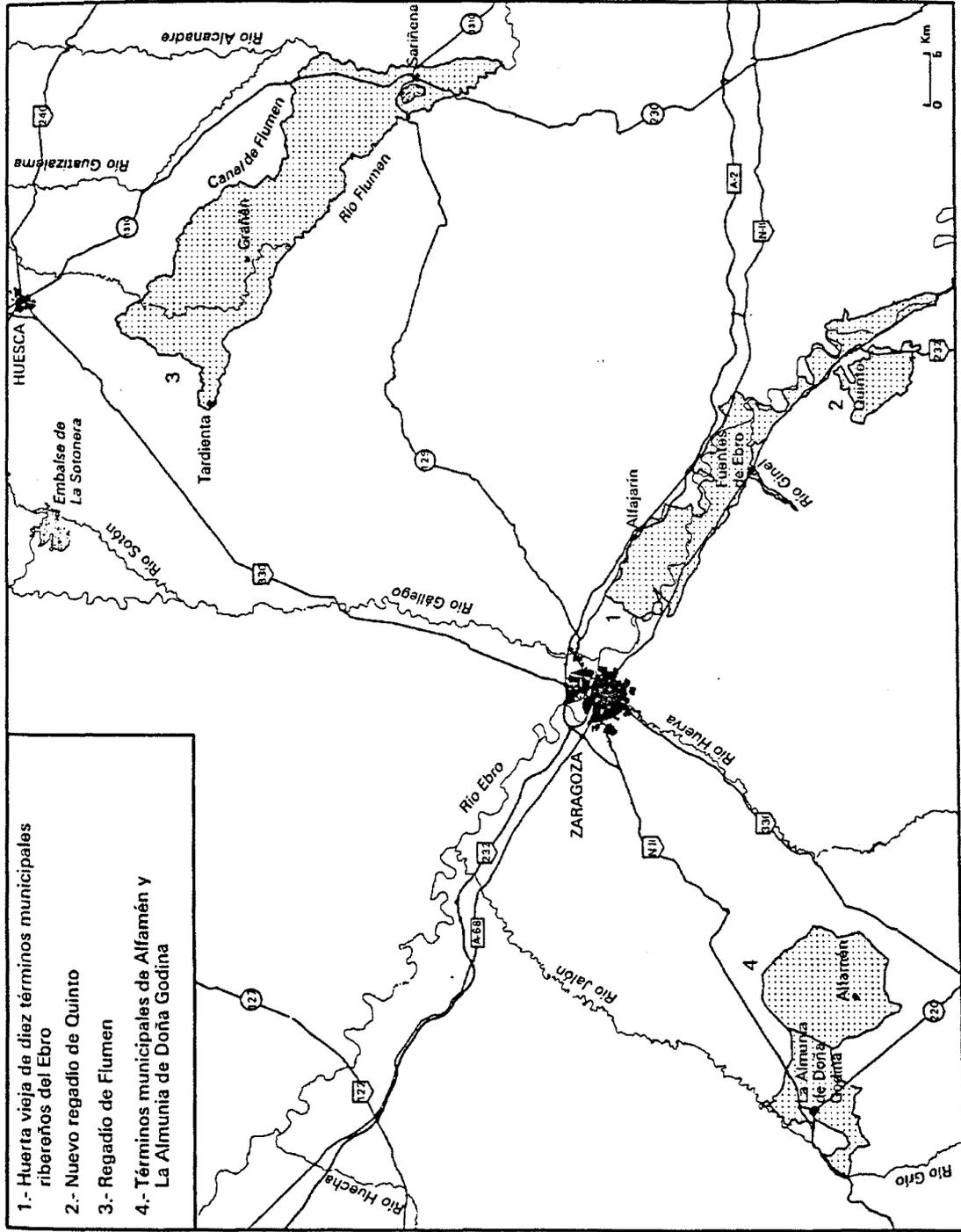


Figura 1 (continuación). - Localización de las cuatro áreas de estudio

I.2.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambrosio L., Alonso R., Villa A. 1993. Estimación de superficies cultivadas por muestreo de áreas y teledetección. Precisión relativa. *Estadística Española* 35 (132): 91-103.
- Badhwar G.D., Gargantini C.E., Redondo F.V. 1987. Landsat classification of Argentina summer crops. *Remote Sensing of Environment* 21: 111-117.
- Bauer M.E., Cipra J.E. 1973. Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data. Symposium on Significant Results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1. NASA Goddard Space Flight Center. NASA. SP-327: 205-212.
- Bauer M.E., Hixon M.M., Davis J.B., Etheridge J.B. 1978. Area estimation of crops by digital analysis of Landsat Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 44 (8): 1033-1043.
- Burman R., Pochop L.O. 1994. Evaporation, evapotranspiration and climatic data. *Developments in Atmospheric Science* 22. ELSERVIER. 278 pp.
- C.I.T.A. 1987. Remote sensing in agriculture. Crop acreage estimate and crop production forecast "from feasibility to implementation". Consorzio Italiano per il Telerilevamento in Agricoltura. Ministerio de Agricultura y Bosques de Italia. 100 pp.
- Cotter J., Nealon J. 1987. Area frame desing for agricultural surveys. National Agricultural Statistics Service. U.S. Department of Agriculture. Washington D.C. 67 pp.
- Cuevas J.M., Llop R., González F., López S. 1988. Utilización de información espectral MSS-Landsat 4 en la estimación de superficies ocupadas por los cultivos anuales de secano. Aplicación en la provincia de Toledo. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*. M.A.P.A. 3 (3): 329-346.
- Delincé J. 1988. The test site networks of the agriculture project. Proceedings of the 8th EARSel Symposium. Alpine and Mediterranean areas: A challenge for remote sensing. Capri (Naples), Italy. 17-20 May. EUR 11851 EN:14-20.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y drenaje, 24. Roma, Italia. 194 pp.
- Elías F., Castellví, F. 1996. Agrometeorología. M.A.P.A. y Ediciones Mundi-Prensa. 517 pp.
- Fournier M.P. 1986. Enquête sur l'utilisation du territoire effectuée en 1985 par la méthode des segments dans Région Ile de France et dans Départements de la Région Centre. Méthode et Applications Scientifiques, SCEES, Ministère de l'Agriculture, France. n°13. 63 pp.
- Fuller R.M., Gromm G.B., Jones A.R. 1994. The lands cover map of Great Britain: An Automated Classification of Landsat Thematic Mapper data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60 (5): 553-562.
- Godard V. 1991. Utilisation conjointe de la télédétection et de l'enquête de terrain lors des inventaires d'occupation du sol. Recherche méthodologique appliquée au Sahel sud-mauritanien. Institut d'Élevage et de Medecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, CIRAD. 443 pp.

Introducción

- González F., López S., Cuevas J.M. 1990. Influencia de la información contenida en imágenes de satélite sobre la precisión de la estimación de la superficie cultivada de cereal en una zona piloto de la Comunidad Autónoma de Navarra. Monografías I.N.I.A. 73. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 52 pp.
- Hanuschak G., Sigman R., Craig M., Ozga M., Luebbe R., Cook P., Kleweno D., Miller C. 1979. Obtaining timely crop area estimates using ground-gathered and Landsat data. USDA, Economic, Statistics and Cooperative Service. Tecn. Bull 1609. 29 pp.
- Hanuschak G.A., Allen R.D., Wigton W.H. 1982. Integration of Landsat data into the crop estimation program of USDA'S Statistical Reporting Service. 1972-1982. 1982 Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium. Purdue University, West Lafayette, IN. 12 pp.
- Hall-Könyves K. 1990. Crop monitoring in Sweden. International Journal of Remote Sensing 11 (3): 461-484
- I.A.T. 1989. Monitoring Agriculture with Remote Sensing Techniques. Flash Tele-Agri-News. CEE, Institut des Applications de la Télédétection. Joint Research Center, Ispra. Special. Publication. Nº 1.89.34. 20 pp.
- I.A.T. 1993. Monitoring Agriculture with Remote Sensing Techniques. Tele-Agri-News. CEE, Institut des Applications de la Télédétection. Joint Research Center, Ispra. S. P. I. 93.23. 21 pp.
- Jensen M.E., Burman R.D., Allen R.G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. American Society of Civil Engineers. Manual and Reports on Engineering Practice 70. 332 pp.
- Joint Research Center, 1995. Institute for Remote Sensing Application. Annual Report 93. Report EUR 15953 EN. European Commission. 127 pp.
- Kolm K.E., Case H.L. 1984. The identification of irrigated crop types and estimation of acreages from Landsat imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 50 (10): 1479-1490.
- M.A.P.A. 1992. Utilización de imágenes de satélite para la estimación de superficies de cultivos en la provincia de Segovia en 1990. Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de Estadística. Marzo. pp 72-92.
- M.A.P.A. 1993. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos del año 1992. Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de Estadística. Abril. 55 pp.
- M.A.P.A. 1996. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos del año 1995. Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de Estadística. Marzo. 120 pp.
- Martín De Santa Olalla F., De Juan J. A. 1993. Agronomía del riego. Ed. Mundi Prensa y Universidad de Castilla-La Mancha. 732 pp.
- Martínez-Cob A., Faci J., Bercero A. 1997. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en Comarcas de Aragón. Institución Fernando el Católico. Diputación de Zaragoza. En prensa.

Referencias bibliográficas

- Mergerson J.W., Hanuschak G.A., Cook P.W. 1982. Applications of satellite remote sensing for U.S. crop acreage estimation 1980-81 results. 16th International Symposium on Remote Sensing of Environment. 2-9 June 1982. Buenos Aires, Argentina. Environmental Research Institute of Michigan. Ann Arbor, MI: 59-70.
- M.O.P.U.1990. Plan hidrológico. Síntesis de la documentación básica. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Obras Hidráulicas. 128 pp.
- Pedley M.I., Curran P.J. 1991. Per-field classification: an example using SPOT HRV imagery. *International Journal of Remote Sensing* 12 (11): 2181-2192.
- Prados M.J. 1995. Teledetección, agricultura y medio ambiente. El empleo de imágenes Landsat-5 en el seguimiento y evaluación estadística de los regadíos en la cuenca baja del Guadalquivir. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 250 pp.
- S.E.R.N. 1990. El uso de las imágenes de satélite en el análisis de la distribución espacial de cultivos. Aplicación metodológica en el Bajo Guadalquivir. Servicio de Evaluación y de Recursos Naturales. Agencia del Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 131 pp.
- Trabajos Catastrales S.A. 1990. Informe Estadística Agraria 1990. Comarcas Agrarias VI y VII. Método marco de áreas y estimación por regresión. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes del Gobierno de Navarra. Trabajos Catastrales, S.A., Departamento de Teledetección, Pamplona. 80 pp.+ anejos.
- Thompson F.J. 1973. Crop species recognition and mensuration in the Sacramento Valley. Symposium on Significant Results obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1. NASA Goddard Space Flight Center. NASA. SP-327: 181-188.
- Touzelet M. 1983. Enquête sur l'utilisation du sol par la méthode des segments. Ardèche 1982. Ministère de l'Agriculture. SCEES. Cahiers de Statistique Agricole 2/6: 9-16.
- Townshend J.R.G. 1984. Agricultural land-cover discrimination using thematic mapper spectral bands. *International Journal of Remote Sensing* 5 (4): 681-698.
- Williamson H.D. 1989. The Discrimination of irrigated orchard and vine crops using remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55 (1): 77-82.

Capítulo II.- Metodología

II.1.- CUESTIONES DE DISEÑO Y EJECUCIÓN EN LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES DE CULTIVOS EN PEQUEÑAS DEMARCACIONES.¹

RESUMEN

El municipio es la demarcación española de menor rango en las estadísticas oficiales de superficies de cultivos. Ello implica que de dichas estadísticas no pueden deducirse las de demarcaciones no coincidentes con una agregación de municipios, como es el caso de la mayoría de los polígonos de riego. En el presente trabajo se analiza la aplicabilidad del método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite en diferentes demarcaciones de pequeño tamaño, basándose en la experiencia adquirida al aplicar dicho método en cuatro demarcaciones aragonesas de menos de 350 km². Para cada una de las fases del método se describe la metodología utilizada y se enumeran y discuten los problemas encontrados así como las soluciones adoptadas. Se concluye que el método es idóneo para estas demarcaciones si se aplica cuidadosamente, y se dan recomendaciones para futuros trabajos similares.

Palabras clave: marco de áreas, estimador de regresión, teledetección, Landsat TM, pequeñas demarcaciones.

SUMMARY

Some questions about the design and execution of the crop surface statistics operations in small areas.

In Spain, "municipio" is the smallest area where official statistics are obtained. Thus, this source cannot be used to have statistics for areas that are not aggregation of municipios, as is the case of irrigated districts. In this article, the applicability of the method of frame area sampling and regression estimator with satellite data in different small areas is analysed based on our experience in four areas of Aragon (Spain) all of them smaller than 350 Km². The method and the problems found in each step are described and discussed together with their solutions. The method is sound in these demarcations if carefully applied with the proposed adjustments; recommendations for similar studies are included.

Key words: frame area, regression estimator, remote sensing, Landsat TM, small area.

¹ Publicado como: Casterad M^o A. 1996. Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones. Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales 11(2). En prensa.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de las aplicaciones del método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite se han desarrollado y verificado para grandes superficies (Sigman et al., 1977; Hanuschack et al., 1982; Mergerson et al., 1982; Ryerson et al., 1985; Fournier, 1986; Germain, Julien, 1988). En Europa dicha metodología se ha aplicado con éxito a nivel regional para obtener inventarios y estimaciones rápidas de superficies cultivadas dentro del marco del Proyecto MARS de la CEE (Delincé, 1988; Joint Research Center, 1989; Gallego, 1995). En España también se han realizado diversas aplicaciones del método (González et al., 1990; S.E.R.N., 1990; Trabajos Catastrales, S.A., 1990). El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación utiliza desde 1990 el método del marco de áreas para la estadística de superficies de cultivos (M.A.P.A., 1995), complementado en algunas provincias con estimaciones por regresión mediante datos de satélite (M.A.P.A., 1992, 1993).

En muchas ocasiones interesa las estimaciones de pequeñas demarcaciones no coincidentes con municipios como pueden ser comarcas agrarias, polígonos de riego, etc. Sin embargo, son escasas las aplicaciones del método a esta escala y por tanto, prácticamente se desconocen sus posibilidades.

A partir de la experiencia adquirida por el Departamento de Suelos y Riegos del Servicio de Investigación Agroalimentaria de Aragón al aplicar el citado método para la estimación de superficies de cultivos en cuatro demarcaciones aragonesas menores de 350 km² (Casterad et al., 1992; Casterad et al., 1996; Barbosa et al., 1996), se analiza en este artículo la aplicabilidad del método en estas pequeñas demarcaciones y se establecen algunas recomendaciones y pautas metodológicas. Para cada fase del método, se describe la metodología utilizada, se enumeran y discuten los problemas encontrados, y se presentan algunas de las soluciones adoptadas.

AREAS DE ESTUDIO

Huerta de diez términos municipales ribereños del Ebro

El área está en el centro de la cuenca del Ebro aguas abajo de Zaragoza, sobre las terrazas bajas de dicho río (160 m de altitud). Abundan los suelos profundos, de textura gruesa o

media, generalmente bien drenados. Los cultivos predominantes son: cebada, trigo, girasol, maíz, alfalfa, forrajeras, frutales y hortícolas. La parcelación es intensa, con un tamaño medio de parcela de 1 ha. Se riega a pie con agua procedente del Canal Imperial y de azudes del Ebro.

Nuevo regadío de Quinto

Este regadío se inauguró en 1985 y se localiza en el monte del término municipal de Quinto (Zaragoza), término cuya huerta está incluida en el área anteriormente mencionada. El nuevo regadío está situado a 200-258 m de altitud sobre una plataforma estructural ligeramente inclinada hacia el oeste (Artieda, 1996). Los suelos son poco profundos, de textura media, y aquellos cuyo drenaje no era satisfactorio, han sido drenados artificialmente. Los principales cultivos coinciden con los del área anterior, si bien los frutales y hortícolas se encuentran en pequeña proporción. Por contra, las parcelas son en general mayores de 20 ha y se riegan por aspersión o por goteo con agua impulsada desde el Ebro (Herrero y Bercero, 1991).

Regadío de Flumen

Está situado en la provincia de Huesca, al norte de los Monegros. Lo delimitan el Canal del Flumen, la val del Reguero y los ríos Flumen y Alcanadre. Este perímetro incluye huertas viejas y algunos enclaves de secano. Sus altitudes están entre los 260 y los 400 m y sus formas de relieve características son: plataformas estructurales, plataformas residuales, vertientes, terrazas fluviales y valles de fondo plano. Pueden encontrarse datos de los suelos de esas unidades geomorfológicas en Nogués (1994), y cabe reseñar la salinidad - sodicidad de muchos de estos suelos (Herrero y Aragüés, 1988). Los cultivos predominantes coinciden con los de las anteriores áreas de estudio, si bien aquí, y asociado al problema de salinidad aparece el arroz. El riego suele ser por inundación, aunque pueden encontrarse algunas parcelas con aspersión. Por lo general, predominan las parcelas alargadas y rectangulares menores de una hectárea.

Alfamén - Almunia de Doña Godina

Alfamén y La Almunia son dos municipios de la provincia de Zaragoza situados al suroeste de la capital. La mayor parte de la zona de estudio es plana con altitudes entre 359 y 580 m. Solamente en la parte suroriental, zona forestal con dominio de *Pinus halepensis*, el

Metodología

desnivel es mayor alcanzando los 700 m de altitud. Gran parte de la zona de estudio se sitúa sobre amplios glaciares del Pliocuaternario cuyos suelos tienen horizontes petrocálcicos en ciertos casos aflorantes (Riba et al., 1980). En ellos se desarrollan nuevos regadíos con las aguas subterráneas del acuífero de Alfamén. Las parcelas son en muchos casos mayores de 15 ha, y se riegan por inundación, aspersión o con riego localizado. Al noroeste de la Almunia sobre las terrazas aluviales del Jalón se sitúa otra zona en regadío, con parcelas de aproximadamente 1 ha y regada en su mayoría por inundación con el agua de los ríos Grío y Alpartir. El cultivo de mayor importancia son los frutales. Otros cultivos presentes en el regadío son: maíz, girasol y hortalizas, destacando entre estas el guisante. En el resto del área dominan las explotaciones de secano con cereal de invierno y viña.

Las superficies consideradas para cada área de estudio así como el año en el que se realizó la estimación se reflejan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Características del muestreo en cada una de las áreas y años estudiados.

	Superficie (ha)	Nº de segmentos muestreados	Tasa de muestreo (%)	Procedimiento de muestreo
Huerta de diez términos ribereños del Ebro, 1990	15435	20	3.2	Aleatorio simple en cada hoja del M.T.N. 1:50000
Nuevo regadío Quinto, 1990	3223	19	14.7	Sistemático
Regadío de Flumen				
Sectores de riego del IV al XI 1990	25746	26	2.5	Aleatorio simple
1991	26313	36	3.4	
Sectores de riego del I al XI 1993 y 1994	32729	44	3.4	Sistemático Repetición de un patrón aleatorio en bloques de 5 km x 5 km
Alfamén-Almunia, 1994	15759	31	4.9	

MUESTREO POR MARCO DE ÁREAS

El muestreo por marco de áreas se basa en la división del territorio en recintos. Dichos recintos son unidades elementales, fijas, que cubren todo el territorio sin solapamiento y que constituyen el marco areolar de muestreo (Cotter y Nealon, 1987; M.A.P.A., 1990; Gallego, 1995).

El primer paso para establecer el marco de áreas es dividir el territorio en zonas diferenciadas y en la medida de lo posible homogéneas denominadas estratos. Esta división suele hacerse normalmente en función de los usos del territorio y reduce la variabilidad del muestreo. A su vez, cada estrato se subdivide en unidades elementales o segmentos que constituyen el marco areolar de muestreo.

Los estratos y segmentos puede trazarse basándose en límites lo más permanentes posibles y fácilmente identificables en el terreno (Cotter y Nealon, 1987) o en una malla regular (Joint Research Center, 1989). El primer método es el utilizado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y da lugar a los denominados segmentos irregulares o catastrales. El segundo, por contra, da lugar a segmentos cuadrados y es el aplicado por el Institute for Remote Sensing Applications de la CEE.

La elección de uno u otro método dependerá de las necesidades, prioridades y documentación disponible en cada caso. Las ventajas e inconvenientes de cada uno pueden encontrarse en Fournier (1986), Cotter y Nealon (1987), González et al. (1991).

La formación y delimitación del marco de áreas se realiza en base a información administrativa (datos catastrales, estadísticos, etc.) y cartográfica (mapas topográficos, planos parcelarios, planos catastrales, etc.).

Finalmente, y una vez establecido el marco de áreas, se eligen las unidades a inventariar mediante alguna de las técnicas tradicionales de muestreo.

Material y métodos

La delimitación de las áreas de estudio, así como el establecimiento del marco de áreas se basó en los Mapas Topográficos Nacionales de escala 1:100000 y 1:50000 siguiendo la metodología adoptada por la Unión Europea (Joint Research Center, 1989; Gallego, 1990, 1995). La malla utilizada fue la cuadrícula de 1 km × 1 km según la proyección U.T.M.

En aquellos casos en los que se efectuó un muestreo sistemático aleatorio por bloques, estos fueron de 5 km × 5 km, imponiéndose al muestreo la restricción de que las cuadrículas elegidas no tuviesen un lado común.

Metodología

Se tomó como unidad de muestreo el segmento cuadrado de 500 m × 500 m. Dichos segmentos se localizaron en el vértice noroeste de la cuadrícula U.T.M. muestreada.

Los límites del área de estudio no se delinearón según esta cuadrícula, sino siguiendo el límite geográfico establecido (lindes de municipios, del regadío, etc.).

La única excepción a este procedimiento fue el regadío de Flumen para 1990 y 1991, pues al no disponer de la cartografía idónea para el trabajo de campo (ortofotos o planos parcelarios), se utilizó fotografía aérea. Por eso, el marco de áreas establecido en este caso se basó en las fotografías aéreas de un vuelo de 1975, localizando los segmentos en el centro de los fotogramas que resultaron elegidos por sorteo. Debido a las distorsiones de la fotografía aérea los segmentos no fueron exactamente cuadrados de 500 m × 500 m.

El tipo de muestreo realizado en cada área de estudio, así como sus características más relevantes se indican en la Tabla 1.

Problemática

- Estratificación

El pequeño tamaño de las áreas de estudio seleccionadas limita las posibilidades de estratificación. Por un lado, los posibles estratos serían todavía menores que el área de estudio y no se conseguiría en ellos una muestra suficiente. Por otro lado, para estimar las superficies de cultivo, la estratificación suele hacerse atendiendo a heterogeneidades manifiestas en el uso del territorio. Esta heterogeneidad apenas se percibe dentro de los regadíos, y mucho menos si son del tamaño de los aquí estudiados.

Las áreas estudiadas son polígonos de riego, excepto Alfamén-Almunia que son dos términos municipales con áreas de secano, regadío y bosque. Una posible estratificación sería la separación de las parcelas en regadío de otras, como son áreas urbanas y vías de comunicación, áreas no agrícolas, secano, etc. El problema surge cuando estos posibles estratos están compuestos por parcelas diseminadas, o resultan demasiado pequeños para poder realizar en ellos las estimaciones con precisión. Además, en algunos casos, la delimitación de los estratos resulta imposible por falta de documentación e información adecuada.

Estas consideraciones aconsejaron no realizar estratificación en ninguna de las áreas de estudio presentadas. Hasta 1993 se realizaron las estimaciones para toda la superficie interior al perímetro del área de estudio delineada. A partir de 1993 se delimitaron las áreas urbanas y las masas de agua, delimitación que se utilizó para excluirlas del aforo por no ser objeto de este estudio.

- Establecimiento del marco de áreas

Como ya se ha indicado, siguiendo la metodología adoptada por la Unión Europea, se estableció un marco de áreas basado en la cuadrícula U.T.M.. Su trazado resulta sencillo, no requiere mucha información previa y es económico.

Una dificultad es el ajuste de la malla U.T.M. en los límites del área de estudio. Se puede crear una nueva delimitación según las celdillas de 1 km × 1 km adoptando el criterio de incorporar la celdilla al área de estudio sólo si toda o la mayor parte de dicha celdilla cae dentro del área de estudio (Gallego, 1995). En los casos estudiados este procedimiento no da grandes diferencias de superficie frente a la delimitación por líneas geográficas delineadas sobre mapas, dado que los efectos individuales de cada celdilla se van compensando entre sí. La Tabla 2 muestra que la diferencia entre la superficie delineada y la obtenida por recuento de cuadrículas U.T.M. en ningún caso es mayor del 3% de la superficie delineada.

Tabla 2.- Superficies en hectáreas resultantes de delinear el perímetro de cada área de estudio sobre documentación cartográfica o sobre malla U.T.M.

	Por delimitación del perímetro	Por recuento de la cuadrículas U.T.M. de 1 km × 1 km
Huerta de diez términos ribereños del Ebro	15436	15000
Nuevo regadío de Quinto	3223	3300
Regadío de Flumen. Sectores de riego IV al XI	26152	25900
Regadío de Flumen. Sectores de riego I al XI	33207	32700
Alfarnén-Almunia	15867	15800

Ahora bien, esta nueva delimitación del área no se ajusta a los límites que suele reconocer y demandar el usuario. Por eso, en todas las aplicaciones presentadas el área de

Metodología

estudio se delimita con líneas de mapas. El problema surge si en el muestreo resulta elegida por sorteo alguna celdilla limítrofe no completa, pues parte del segmento o unidad de muestreo puede caer fuera del área de estudio. Ello no sucedería si se delimitase el área de estudio usando la cuadrícula U.T.M.

Sea cual sea la opción adoptada para delimitar el área de estudio, el mayor inconveniente se presenta cuando no se dispone de cartografía adecuada en la que estén representados los límites deseados. En ocasiones, las imágenes de satélite pueden ayudar a trazar dichos contornos. Este ha sido el caso de la Huerta de los diez términos ribereños del Ebro y del Nuevo Regadío de Quinto.

- Muestreo

Uno de los aspectos a considerar al establecer el muestreo es determinar el tamaño óptimo del segmento. Esto no resulta sencillo y depende, entre otros factores, de los objetivos del trabajo, del método de estimación, del coste de la recolección de datos, de la variabilidad de estos, de la duración de la encuesta, de la homogeneidad de usos del suelo, de la forma de las parcelas, de la cartografía disponible y de la resolución de las imágenes de satélite (Fournier, 1986; Cotter y Nealon, 1987; Godard, 1991; Gallego, 1995). La experiencia previa suele ser determinante en la elección del tamaño del segmento.

Según Gallego (1995) el tamaño de segmento apropiado para diferentes áreas de cultivo en la Unión Europea puede estar entre 25 y 100 ha. En varias regiones de España se han utilizado segmentos cuadrados de 49 ha (Joint Research Center, 1989; González et al., 1990; S.E.R.N., 1990; Trabajos Catastrales S.A., 1990; M.A.P.A., 1990, 1992, 1993). Para estimaciones en regadíos de Navarra, Trabajos Catastrales S.A. (1990) ha utilizado también segmentos de 25 ha. González (1994) compara los resultados de expansión directa en dos comarcas de Segovia para diferentes tamaños de segmentos (49, 35 y 25 ha) viendo que, en este caso, reducir el tamaño del segmento de 49 a 25 ha puede ser interesante siempre y cuando el incremento del tamaño de muestra necesario para obtener la misma precisión en las estimaciones que la obtenida con segmentos de 49 ha no suponga un coste adicional en los trabajos de campo.

Una manera de comparar la estructura del parcelario de cada área de estudio es

representar la distribución acumulada del número de parcelas-uso por segmento (Figura 1). En ella se entiende por parcela-uso la agrupación de todas las parcelas contiguas pertenecientes a la misma clase inventariada en campo. De las cuatro demarcaciones estudiadas, el nuevo regadío de Quinto tiene las parcelas-uso de mayor tamaño, con el 90% de los segmentos muestreados conteniendo menos de 12 parcelas-uso. En Alfamén-Almunia se han encontrado los valores más elevados de fragmentación de uso de segmentos, (un segmento con 55, otro con 57 y otro con 65 parcelas), si bien globalmente la demarcación más parcelada es la huerta vieja de los 10 términos municipales ribereños del Ebro donde el 50 % de los segmentos tienen más de 18 parcelas-uso.

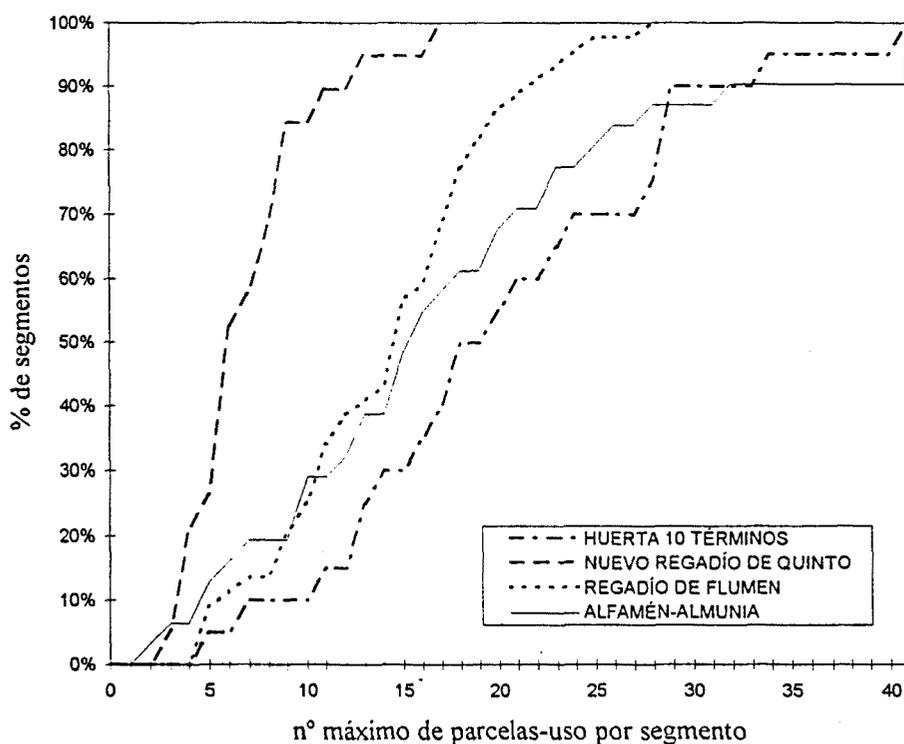


Figura 1. - Distribución acumulada del número de parcelas-uso por segmento expresada, para cada una de las áreas de estudio, en porcentaje sobre la muestra de segmentos.

Metodología

De acuerdo con lo indicado en los dos párrafos anteriores y teniendo en cuenta el tamaño de las demarcaciones estudiadas (Tabla 1) se optó por utilizar segmentos cuadrados de 500 m de lado. Frente a los segmentos de 49 ha que parecen habituales en otros estudios similares realizados en España, el segmento de 25 ha da, en estas demarcaciones de pequeño tamaño, una muestra representativa y de tamaño suficiente para realizar las estimaciones (Tabla 1). Además, este tamaño no supone un incremento excesivo del coste del trabajo de campo, pese a requerir un mayor número de desplazamientos de un segmento a otro por tener prácticamente el doble de unidades a inventariar que en el caso de segmentos de 49 ha. Se descartó un tamaño de segmento menor, pues si bien permitiría obtener una muestra mayor, también supondría un aumento notable de los costes del trabajo de campo y un menor, y a veces escaso, número de parcelas-uso por segmento dado el tamaño y la forma de estas en las áreas estudiadas.

Otro aspecto a considerar es la elección de la tasa de muestro que según Cotter y Nealon (1987) depende del promedio del coste de la recogida de datos, de la variabilidad de los datos (intensidad y diversidad agrícola), del número total de segmentos en cada estrato y en el área de estudio, y de la importancia agrícola de cada estrato.

Existen diferentes fórmulas para establecer el tamaño de la muestra (Cochran, 1977; Godard, 1991; Thompson, 1992), pero suelen ser complicadas. Normalmente en la práctica el número de unidades a muestrear depende en gran parte del tiempo disponible para preparar y realizar la encuesta, y de la precisión que se desee alcanzar (Godard, 1991). Según Cochran (1977) el tamaño óptimo de muestra es el que minimiza la expresión Varianza de la estimación \times Costo de la toma de muestra.

El pequeño tamaño de las demarcaciones estudiadas supuso tener que utilizar tasas de muestreo mayores (Tabla 1) que las aplicadas en otras demarcaciones españolas mayores (tasas del 1.5%) para conseguir estimaciones con precisión similar.

Los procedimientos de muestreo para elegir la muestra, es decir, la cuadrícula de la malla U.T.M. o la fotografía aérea en que se ubica el segmento, fueron dos: aleatorio y sistemático (Tabla 1).

Ambrosio et al. (1993) comparan la precisión relativa de tres procedimientos de

selección de muestra de áreas para estimar superficies de cultivo. Sus áreas de estudio son las encuestadas por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en 1990 en las principales comarcas cerealistas de varias provincias castellano-leonesas con tamaños entre 7000 y 18000 km²; en 1991 son Castilla-León, Castilla La Mancha y Madrid, cuyos tamaños están entre 8000 y 94000 km² (M.A.P.A., 1992). Según estos autores el muestreo sistemático es más preciso que el aleatorio simple, sobre todo para cultivos con gran superficie en grandes demarcaciones, por ejemplo trigo y cebada con cientos de miles de hectáreas en alguna de las comunidades autónomas citadas. También señalan que en esas demarcaciones el muestreo sistemático es más eficiente en las de mayor tamaño.

Utilizar el método aleatorio o el sistemático produce pocas diferencias en cuanto a representación de la muestra en regadíos más o menos homogéneos y del tamaño de los aquí presentados. En Alfamén-Almunia hay una apreciable diversidad de usos del territorio (regadío, secano y bosque), y sería necesario estratificar antes del muestreo. Cuando, como en este caso, la insuficiencia de la cartografía u otras causas impiden estratificar, un muestreo sistemático asegura, al menos, una distribución de la muestra por todo el territorio.

También es aconsejable el muestreo sistemático por bloques si se prevé realizar a posteriori otras estimaciones con tasas de muestreo modificadas, o post-estratificaciones del territorio, pues se asegura una distribución homogénea de la muestra. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que, como se indica más abajo, si se utilizan las fórmulas estándar de estimación con este muestreo, las varianzas obtenidas están sobrestimadas.

La aplicación del muestreo sistemático por bloques en estas pequeñas demarcaciones exigió ajustar el tamaño de estos. Como los bloques de 10 km x 10 km utilizados por el M.A.P.A. a nivel regional resultan demasiado grandes en nuestro caso, ya que ninguna demarcación contiene un cuadro completo de este tamaño (Tabla 3), se optó por reducir el tamaño de los bloques a cuadros de 5 km de lado.

Por supuesto, además del tamaño de las demarcaciones, su forma influye notablemente en el número de cuadrículas a considerar. Esto se pone de manifiesto en la Tabla 3 al comparar dos demarcaciones de tamaño similar pero de diferente forma como son la Huerta de diez términos municipales que es estrecha y alargada y Alfamén-Almunia, demarcación de forma mas

Metodología

bien redondeada sobre todo en lo correspondiente al término de Alfamén.

Tabla 3.- Número de cuadrículas que forman cada área de estudio para tres tamaños diferentes de cuadrícula basados en la malla U.T.M. en el caso a) se cuentan sólo las cuadrículas totalmente comprendidas en el perímetro definido por el documento cartográfico; en el caso b) se cuentan las cuadrículas con al menos un 50% de su superficie dentro de dicho perímetro.

	1km × 1km		5km × 5km		10km × 10km	
	a)	b)	a)	b)	a)	b)
Huerta de diez términos ribereños del Ebro	80	150	0	6	0	0
Nuevo Regadío de Quinto	15	33	0	1	0	0
Regadío de Flumen. Sectores de riego IV al XI	195	259	1	11	0	2
Regadío de Flumen. Sectores de riego I al XI	255	327	3	14	0	3
Alfamén-Almunia	115	158	1	6	0	1

Una vez establecidas todas las condiciones del muestreo el problema que se presentó fue la ubicación de los segmentos en la fotografía aérea o en la cuadrícula de la malla U.T.M elegida. En el primer caso el segmento se situó en el centro de la fotografía. Si al aplicar este criterio parte del segmento quedaba fuera del área de estudio (caso del límite del área de estudio) se desplazaba al este u oeste hasta que quedaba totalmente dentro.

En el caso de la cuadrícula U.T.M. el segmento se localizó en el rincón NW de cada cuadrícula seleccionada. Cuando parte del mismo caía fuera del área de estudio (caso de las cuadrículas limítrofes del área de estudio) o en zonas que no iban a considerarse al realizar la estimación (caso de las áreas urbanas, masas de agua, etc.) se desplazaba a otra esquina dentro de la cuadrícula U.T.M. siguiendo el sentido de las agujas del reloj. Si aún así no se encontraba ninguna posición dentro de la cuadrícula en la cual el segmento quedase totalmente dentro, se movía a la cuadrícula contigua en la posición más cercana a la inicial, siguiéndose luego los criterios de ubicación descritos.

Como ya se ha indicado anteriormente uno de los sesgos que se presentan al seguir este criterio de ubicación es que si el segmento es mayor o menor de 500 m × 500 m existe una zona

dentro de la cuadrícula U.T.M. que siempre o nunca será muestreada al seleccionar dicha cuadrícula. Otro posible sesgo se puede producir al utilizar este procedimiento en demarcaciones que presenten ciertas clases de ocupación del suelo asociadas a sus límites como es el caso de la Huertas viejas del regadío de Flumen situadas alrededor de los ríos Alcanadre y Flumen que delimitan parte del área de estudio. En estos casos el desplazamiento del segmento al interior del área de estudio estaría premiando a los cultivos que preferiblemente se diesen junto a los límites.

TRABAJO DE CAMPO

Las unidades de muestreo son visitadas por encuestadores con el fin de recopilar la información necesaria sobre la ocupación del suelo, así como otras características de interés práctico para el trabajo.

Antes de empezar el trabajo de campo, se localizan las unidades a inventariar sobre la cartografía disponible (mapas topográficos, fotos aéreas u ortofotomapas). Ya en campo, el encuestador dibuja con apoyo de la cartografía cada parcela-uso existente, asignándole un código mnemotécnico. El inventario deberá realizarse en fechas, si no coincidentes, al menos próximas a las de las imágenes que se piensen adquirir.

El trabajo de campo proporciona la información básica tanto para la estimación de superficies, como para la clasificación de las imágenes de satélite, de ahí la importancia de su correcta ejecución.

Material y métodos

Debido al calendario de cultivos y las prácticas agrícolas en las áreas de estudio elegidas, son necesarias al menos dos imágenes de satélite, una de primavera y otra de verano para detectar los cultivos más representativos. Por eso, se efectuaron dos campañas de campo anuales, una a finales de primavera para inventariar los cultivos que se desarrollan durante invierno y los cultivos de verano recién emergidos y otra, más adelante a principio del verano, únicamente para verificar posibles cambios en las parcelas que estaban anteriormente sin cultivo o en las parcelas cultivadas que pudieran presentar segundas cosechas. Como en 1990 sólo se dispuso de una imagen de verano, hubo una única campaña de campo en esa época.

Metodología

El trabajo de campo se realizó por equipos de dos encuestadores. Cada equipo inventarió del orden de 3 ó 4 segmentos por jornada completa de trabajo en primera campaña y 4 ó 5 en segunda campaña, variando estas cifras en función de las características y del conocimiento previo del área de estudio. Así en el caso de Flumen 1991, año en el que la campaña de campo fue realizada por el mismo equipo de 1990, se llegó a una media de seis segmentos diarios al igual que en el Nuevo Regadío de Quinto, demarcación de pequeña superficie y con parcelas de mayor tamaño al de las otras áreas (Figura 1).

Como ya se ha indicado, los segmentos a muestrear se localizaron sobre mapas topográficos 1:50000 para tener una visión global de la distribución de los segmentos en el área de estudio.

Además, los límites de cada segmento se trasladaron a ortofotomapas escala 1:5000, excepto en el caso de Flumen. El encuestador, en campo, superpuso a la cartografía un transparente con el contorno del segmento. Sobre ese transparente dibujó a su vez las parcelas-uso, calcando las parcelas de la cartografía. A cada una de esas parcelas-uso asignó un código mnemotécnico establecido de antemano y que identifica el cultivo o uso; además anotó otras características que pudieran ser de interés en la clasificación y estimación, como grado de cobertura, estados patológicos del cultivo, salinidad, encharcamiento, etc. Cada transparente lleva también la fecha de la visita al campo y un número de identificación, así como las coordenadas U.T.M. de su vértice noroeste.

La no disponibilidad de ortofotos en el caso de Flumen llevó a utilizar fotos aéreas de un vuelo IRYDA de 1975, escala aproximada 1:12000, y planos parcelarios de la Confederación Hidrográfica del Ebro escala 1:5000. En las campañas de 1990 y 1991, aunque la única documentación disponible eran las fotos aéreas, se siguió el proceso descrito pero los segmentos se delinearon sobre una fotocopia ampliada (escala aproximada 1:8000) de la fotografía aérea. En 1993 se dispuso de planos parcelarios sobre los que delinear los segmentos, acudiendo al apoyo de fotografía aérea cuando no estaba suficientemente detallado el parcelario.

Aproximadamente un 10% de los segmentos inventariados fueron posteriormente revisados en campo para controlar posibles errores sistemáticos cometidos por alguno de los grupos de encuestadores.

Problemática

Muchos de los problemas del trabajo de campo están ligados al tipo de cartografía disponible. La falta de cartografía actualizada lleva a errores tanto en la localización de los segmentos, como de las parcelas-uso.

La fotografía aérea es en ocasiones el único documento cartográfico disponible. La localización de los segmentos sobre ella resulta compleja y requiere mayor esfuerzo que sobre cartografía georreferenciada. Además como la escala es sólo aproximada, e interviene la distorsión inherente a la fotografía aérea, son necesarias diversas operaciones de ajuste y restitución para poder utilizar la información.

Los aludidos problemas acerca del uso de la fotografía aérea se sufrieron en Flumen, solventándose en 1993 al contar con planos parcelarios de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Sin embargo, la parcelación representada en esos planos se refiere a unidades de riego, que suelen comprender varias parcelas reales. La no coincidencia del parcelario de ese plano con las parcelas-uso, no permite prescindir de la fotografía aérea.

Otra posibilidad sería utilizar imágenes de satélite corregidas de años anteriores como base para los trabajos de campo. A partir de una composición en falso color adecuada de dichas imágenes se generan pequeñas subimágenes ("imágenes") para cada segmento o unidad de muestreo y se imprimen. Esta salida en papel sirve de documento base para el trabajo de campo y sobre ella se delimitan las diferentes parcelas-uso. Este proceder ya ha sido utilizado con éxito por la Unión Europea en los trabajos de campo efectuados dentro de la Acción 6 : "Recolección sistemática de datos de terreno para la clasificación e interpretación de datos de satélite" del Proyecto MARS.

El tipo de estudio que se está realizando exige disponer de una leyenda detallada y suficientemente clara. Uno de los problemas detectados es el de unificar criterios al definir clases no correspondientes a cultivos en pie, algunas de las cuales son muy variables en el tiempo.

Además, y pese a haberse fijado un criterio en cuanto al nivel de detalle a delimitar, se detectaron diferencias entre grupos de encuestadores. En general, estos tendieron a dibujar todo aquello que estaba definido y podía ser identificable en la cartografía utilizada como base, pese a

Metodología

que en muchas ocasiones las superficies delineadas representasen una superficie mucho menor a la de la resolución espacial de las imágenes de satélite con las que se iba a trabajar posteriormente.

Se procuró utilizar en los trabajos de campo al menos dos equipos de encuestadores para compensar posibles sesgos que hubieran sido difíciles de detectar y cuantificar. Las inspecciones de dichas encuestas mostraron una calidad muy aceptable.

Un aspecto a considerar es la fecha de realización del trabajo de campo. Aunque se sepan a priori las fechas de paso del satélite, caso de Landsat, no será posible predecir la presencia de nubes. Al ser las áreas de estudio de pequeño tamaño es más fácil que en días nubosos toda el área se vea afectada. Por contra, una ventaja que presenta el que se trate de pequeñas áreas es la posibilidad de hacer todo el trabajo de campo en un corto periodo de tiempo.

ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES POR EXPANSIÓN DIRECTA

La información recogida en campo permite obtener la superficie ocupada por cada parcela-uso en cada segmento. A partir de dicha superficie y mediante la fórmula clásica de expansión (Cochran, 1977) se obtiene una primera estimación de la superficie de cada uso en el área de estudio.

Material y métodos

En una primera fase se calculó la superficie ocupada por cada parcela-uso. Dos son las metodologías más utilizadas para el cálculo de dichas superficies: (i) superposición de una malla regular de puntos al documento donde se delinearon las superficies y recuento de los que caen dentro de cada una (método muy laborioso), y (ii) mediante digitización de las superficies (Fournier, 1986).

La metodología utilizada varió en función de los medios disponibles. En 1990 las parcelas-uso se delinearon sobre la imagen de satélite corregida geoméricamente. La superficie se obtuvo por recuento de los píxeles interiores a la delimitación de cada parcela (programa

Dipix Aries III), es decir sin cuantificar los del contorno de las mismas. Por eso, y dado que la línea del contorno de parcelas está representada por píxeles, y por lo tanto, tiene una superficie que ya no se contabiliza como superficie de parcela, se estableció un criterio de delineación que consistió en dar preferencia a las parcelas-uso de las clases principales o más representativas y de mayor tamaño en detrimento de la superficie de las parcelas pequeñas o con cultivo poco representativo.

En el caso del regadío de Flumen 1991, los diferentes usos de cada segmento se dibujaron sobre la ampliación de la fotografía aérea. Para corregir las distorsiones de la fotografía y cuantificar la superficie de cada parcela-uso se cargaron los dibujos de los segmentos por cámara de vídeo, visualizándolos en un monitor conectado a un analizador digital de imagen. El siguiente paso fue corregirlos y georreferenciarlos mediante puntos de control identificables en los segmentos y en la imagen de satélite corregida, y aplicar un polinomio de transformación de primer grado. Posteriormente las imágenes de los segmentos corregidos y georreferenciados se digitizaron sobre pantalla y se cuantificó la superficie de cada parcela-uso. Como en el caso anterior, la superficie total del área de estudio se obtuvo por delineación sobre la imagen de satélite corregida (formato ráster).

A partir de 1993 se contó con el programa Arc-Info que calcula las superficies, tanto de las áreas de estudio como de las parcelas-uso, directamente por digitización de las mismas. Además, dicha delineación de superficies se pasó de formato vectorial a ráster para poder utilizarla en el proceso de clasificación de las imágenes.

En una segunda fase se utilizaron las superficies ocupadas por cada parcela-uso en los segmentos para obtener una primera estimación de la superficie ocupada por cada cultivo en al área de estudio. Para ello se aplicó la fórmula clásica de expansión directa (Cochran, 1977). En todos los casos se expandió a la superficie del área de estudio obtenida a partir del formato ráster. Hasta 1993, la expansión se hizo a toda la superficie delimitada por el perímetro del área de estudio. A partir de 1993, se excluyó la superficie de los núcleos urbanos y masas de agua.

También se obtuvieron otros estadísticos indicadores de la precisión alcanzada como son el coeficiente de variación (C.V.) y el intervalo de confianza (I.C.).

Problemática

- Digitización

La determinación de las superficies mediante la delineación de sus contornos sobre pantalla conlleva una serie de problemas asociados al tamaño del píxel y a la asignación de los píxeles de borde a alguna parcela. Parcelas demasiado pequeñas o muy estrechas no pueden representarse correctamente y en muchas ocasiones todos sus píxeles resultan ser de borde. Establecer un criterio de asignación no sesgada de estos píxeles a una u otra es complicado. Se cuantificó únicamente la superficie interior a cada parcela, dado que los programas utilizados permiten descontar estos píxeles de borde. Ello implica que la superficie obtenida es menor que la inventariada y ha de ajustarse aplicando un factor corrector función de la cantidad de bordes.

La comparación de los segmentos delineados manualmente sobre imagen con los mismos segmentos digitizados mediante tableta, para las tres demarcaciones estudiadas en 1990, muestra que las parcelas-uso eliminadas al delinear sobre la imagen corresponden generalmente a parcelas menores de 1 ha; además desaparecen todos los elementos lineales (vías de comunicación, acequias, etc.). El número de parcelas-uso eliminadas al delinear sobre pantalla, respecto a las digitizadas mediante Arc-Info, varía en función del tamaño y forma del parcelario-uso, siendo mayor cuanto menores son las parcelas. Así, en la Huerta de los diez términos municipales se eliminan aproximadamente un 35% de las parcelas-uso digitizadas, existiendo una gran variabilidad en el número de parcelas-uso eliminadas por segmento (entre 0 y 22). En el Regadío de Flumen este dato es del 21% variando entre 0 y 6 las parcelas-uso eliminadas por segmento. En el Nuevo Regadío de Quinto, con parcelas-uso de mayor tamaño, se elimina un 15% de las digitizadas siendo eliminadas por segmento de 0 a 3 parcelas.

Por digitización pueden obtenerse las superficies de todas las clases establecidas en campo. Estas superficies no son exactamente iguales a las que se obtendrían a partir de las imágenes de satélite debido al desajuste de superficies que se produce en el paso de la información de formato vectorial a ráster y viceversa. Aunque a nivel área de estudio la diferencia puede ser despreciada, deberá considerarse cuando se quieran realizar comparaciones a nivel de parcela. En los casos de estudio presentados se tomó como superficie del área de estudio la obtenida a partir de formato ráster lo que permitió comparar las estimaciones de

superficies obtenidas por expansión o mediante el estimador por regresión con las de clasificación.

- Expansión

La estimación por expansión puede efectuarse nada más finalizar el trabajo de campo, siempre y cuando se disponga de los medios adecuados. En caso de tener que apoyarse en la imagen de satélite para cuantificar las superficie ocupada por cada cultivo, el proceso se retrasará hasta que se esté en posesión de la imagen preprocesada. Los resultados obtenidos a partir de la superficie delineada por digitización (formato vectorial) no serán directamente comparables a los de clasificación (formato ráster), como ya se ha indicado anteriormente.

En el caso del regadío de Flumen 1991, la expansión se realizó partiendo de los datos de superficie en porcentaje dado que cada segmento presenta una superficie diferente debido a su delineación sobre fotografía aérea y posterior corrección. Como tamaño medio del segmento se tomó la media del tamaño de todos los segmentos utilizados.

El pequeño tamaño de las áreas de estudio propicia la falta de normalidad de la distribución de la superficie de cultivo en la población de posibles segmentos, sobre todo en los cultivos menos representados. También influye en la normalidad la disposición espacial del cultivo. Cuando se incumplen las condiciones de normalidad no se pueden establecer los intervalos de confianza (Cochran, 1977; Thompson, 1992).

Si se utilizan las fórmulas estándar de estimación de varianza para muestreo aleatorio simple (Cochran, 1977) en los casos en los que se ha realizado un muestreo sistemático alineado las varianzas estarán sobrestimadas (Gallego y Delincé, 1993; Gallego, 1995; Joint Research Center, 1995).

CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE

La clasificación proporciona, además de una cartografía temática de clases de ocupación del suelo, nuevos datos sobre la superficie ocupada por cada clase en las unidades de muestreo y en el área de estudio, datos que posteriormente se utilizarán en la estimación por regresión. La información de campo sirve como verdad-terreno para la toma de áreas de entrenamiento en la

Metodología

clasificación supervisada de las imágenes de satélite.

Material y métodos

Se utilizaron las siguientes imágenes del satélite Landsat TM 5 correspondientes a la escena 199/31: 20 de julio de 1990, 20 de mayo y 24 de agosto de 1991, 6 de marzo y 12 de julio de 1993 y 28 de mayo, 29 de junio y 16 de agosto de 1994. En el área de Flumen no se pudo utilizar la escena del 16 de agosto de 1994, ya que la zona de estudio presentaba nubosidad.

El preprocesado de las imágenes consistió en una visualización y recorte del área de estudio, corrección geométrica y remuestreo a 25 m para ajustarse al tamaño del segmento (excepto en el área de Flumen 1990 que se remuestreó a 20 m). Además, desde 1991 en adelante, las imágenes se corrigieron radiométricamente mediante la aplicación de una corrección atmosférica por el método de corrección del histograma por valores mínimos (Campbell, 1987) y la conversión de nivel digital a parámetros físicos (Chuvieco, 1996).

Tras el preprocesado, las imágenes se clasificaron utilizando el método de máxima verosimilitud (Campbell, 1987; Chuvieco, 1996; ERDAS, 1991). Posteriormente las clasificaciones obtenidas se evaluaron mediante matrices de confusión entre la verdad-terreno y la clasificación en las áreas de entrenamiento (Congalton, 1991).

Los programas utilizados para realizar las operaciones de preprocesado y clasificación fueron: Dipix Aries III para los casos de estudio de 1990, Geojobs para 1991 y Erdas a partir de 1993.

En aquellas áreas en las que se disponía de más de una imagen por año se realizó una clasificación multitemporal, utilizándose todas las bandas excepto la 6 dado su menor interés en este tipo de estudios y su peor resolución espacial. En Flumen 1991, y por limitaciones del software que únicamente admitía un total de 10 bandas, se eliminó además la banda 1 de cada una de las dos imágenes utilizadas.

Hasta 1993, las áreas de entrenamiento se tomaron manualmente. El operador, a partir de la información recogida en campo, seleccionaba como áreas de entrenamiento aquellos

píxeles de cada clase que consideraba más representativos.

Barbosa et al. (1996) comparan clasificaciones unitemporales y multitemporales, con elección de áreas de entrenamiento manual o automática en el regadío de Flumen viendo que ninguna de las clasificaciones era substancialmente mejor que las demás. Ya que la clasificación automática es menos costosa y no está tan influenciada por el criterio personal del operador que clasifica, a partir de 1993 las áreas de entrenamiento se tomaron de forma automática analizando posteriormente los histogramas de cada banda y para cada clase con el fin de confirmar la uniformidad y homogeneidad de las áreas de entrenamiento. En los casos con histogramas plurimodales se redefinió la clase espectral.

Problemática

Las características de las áreas estudiadas, regadíos más o menos planos, con densa infraestructura de acequias, carreteras, caminos, etc., facilitaron la toma de puntos de control y permitieron obtener correcciones geométricas con errores inferiores al píxel y en muchas ocasiones próximos a medio píxel.

Un inconveniente de las áreas poco extensas es la dificultad de hallar zonas de baja radiancia (masas de agua claras y profundas, zonas en sombra) para llevar a cabo la corrección atmosférica. Se optó por suponer condiciones atmosféricas similares en toda la escena Landsat TM, y corregirla globalmente. Ello es aceptable porque el propósito de estos estudios no es el conocer la reflectividad de las clases espectrales definidas, sino el discriminar los cultivos.

Otro aspecto a considerar en esta fase de clasificación es el ajuste entre el tamaño del segmento y el del píxel. Por ejemplo, si los segmentos fueran cuadrados de 700 m de lado y se estuviera trabajando con píxeles de 30 m, al rasterizarlos se necesitarían 23.3 píxeles. Como el píxel es la unidad de trabajo, para completar los 700 m de lado se precisarían 24 píxeles, teniendo finalmente un segmento de unas 52 ha, superior a las 49 ha de segmentos de 700 m de lado. Por eso, en los casos presentados se remuestreó el píxel a 20 ó a 25 m de manera que en el segmento de 500 m de lado que se seleccionó entra un número entero de píxeles.

El tamaño y forma de las parcelas también juega un papel importante en la toma de áreas de entrenamiento. En las áreas con parcelas-uso pequeñas y estrechas el efecto del borde será

importante haciendo difícil contar con píxeles puros.

No es posible establecer clases espectrales de todas y cada una de las clases informacionales definidas en campo. Por un lado, de las clases menos representativas apenas se tiene superficie muestreada y por tanto no se consiguen ni los píxeles, ni las parcelas suficientes para definir áreas de entrenamiento representativas. Por otro lado, no todas las clases informacionales corresponden a una única clase espectral y viceversa, una misma clase informacional puede estar representada por varias clases espectrales. Así, las principales clases espectrales establecidas en estos regadíos corresponden a: trigo y cebada (normalmente con gran confusión entre ellas), alfalfa+forrajera, arroz, girasol, maíz, frutales, coníferas, y sin cultivo. Esta última clase incluye terreno arado, superficie vegetal y áreas no cultivadas.

Un aspecto a considerar en la evaluación de la clasificación es la elección de las áreas sobre las que realizar dicha evaluación. Lo ideal es disponer de otras parcelas diferentes de las utilizadas como áreas de entrenamiento en la clasificación, pero esto supone un coste adicional ya que se necesita muestrear un mayor número de parcelas para poder utilizar unas cuantas en la clasificación y el resto en la evaluación (Campbell, 1987; Chuvieco, 1996). Esto no es viable en demarcaciones como las aquí presentadas en las cuales ya se ha incrementado notablemente la tasa de muestreo para obtener una precisión aceptable en las estimaciones. Utilizar parte de la muestra para la evaluación implica disminuir la cantidad de muestra disponible para la estimación y por tanto disminuir la precisión. Aumentar todavía más la tasa de muestreo para contar con dos muestras de segmentos representativas, una para utilizarla en la clasificación y otra para la evaluación, no resulta rentable. Por eso se realizó la evaluación a partir de las mismas parcelas utilizadas en la clasificación. Debe tenerse en cuenta que esta forma de proceder da una medida de fiabilidad sesgada ya que son los mismos píxeles que se han utilizado como área de entrenamiento los que sirven para verificar los resultados (Chuvieco, 1996).

ESTIMADOR POR REGRESIÓN

El estimador por regresión combina los datos de campo y los de la clasificación de las imágenes de satélite, proporcionando una nueva estimación mejorada de las superficies.

Material y métodos

La relación entre las distintas superficies obtenidas en campo para cada segmento y las obtenidas por clasificación es aproximadamente lineal. Por ello se puede utilizar un estimador de regresión basado en la regresión lineal de los datos de verdad-terreno sobre los de clasificación en los segmentos (Cochran, 1977).

Se aplicó el estimador por regresión a las mismas superficies de los regadíos o municipios que se utilizaron en la expansión. Se determinaron también los coeficientes de variación y los intervalos de confianza.

Además, se definió la eficiencia relativa (E.R.) del método como ratio entre la varianza de la estimación por expansión y la de regresión. Este parámetro mide la mejora obtenida al incorporar los datos de teledetección, e indica cuánto más precisa es la estimación por regresión que por expansión.

En la Tabla 4 se presentan los aforos obtenidos para Flumen 1991, 1993 y 1994 mediante el estimador por regresión, que como cabía esperar ha resultado el más preciso. Dichos aforos se acompañan de los correspondientes parámetros de precisión (C.V. de la expansión y de la regresión) y de la eficiencia relativa del estimador por regresión frente al de expansión. La misma información correspondiente a las demarcaciones estudiadas en 1990 ya fue presentada en Casterad et al. (1992). En la Almunia de Doña Godina y Alfamén (Zaragoza) los cultivos más representativos han sido: los frutales con una superficie estimada de 3583 ha (22.7% del área de estudio), C.V. reg de 11.6% y E.R. de 3.4 y la vid con 1608 ha (10.2% del área de estudio) C.V.reg de 11.9% y E.R. 5.9.

Problemática

La fórmulas estándar de estimación de la varianza están desarrolladas para un muestreo aleatorio simple de tamaño n , con n grande. Para muestras pequeñas no se tienen resultados analíticos generales sobre la exactitud de las fórmulas de estimación de la varianza y no se conoce el grado de subestimación que se produce (Cochran, 1977). Por otro lado, y al igual que ocurría en la expansión, cuando el muestreo es sistemático la varianza quedará sobrestimada. La falta de normalidad de la muestra de ciertos cultivos no permite establecer intervalos de

confianza asociados a sus estimaciones.

Una limitación de la metodología aplicada es que como el estimador por regresión se basa en los datos de clasificación, sólo será posible obtener estimaciones por este método para los cultivos o usos que se hayan podido clasificar.

Comparando las estimaciones obtenidas en Flumen años 1991, 1993 y 1994 con las de la Comarca Agraria VI de regadío en Navarra (Trabajos Catastrales S.A., 1990), área semejante a Flumen en cuanto a superficie (aproximadamente 34900 ha), representación de los principales cultivos, número de segmentos muestreados (40) y tamaño de los mismos (25 ha), se ve que la precisión alcanzada en ambos casos, así como las eficiencias relativas son de orden similar (Tabla 4). Cuando se comparan los C.V. y las E.R. con los obtenidos en otras demarcaciones españolas mayores (González et al., 1990; S.E.R.N., 1990; M.A.P.A., 1992) en las que se ha aplicado una tasa de muestreo de aproximadamente el 1.5% y se han utilizado segmentos cuadrados de 49 ha, se ve que los ajustes metodológicos realizados en las áreas de estudio presentadas han permitido obtener en general precisiones de similar magnitud. Lógicamente las mayores diferencias se presentan con las demarcaciones de superficie mucho mayor para los cultivos que ocupan grandes superficies en los que la precisión final alcanzada es más alta. Por ejemplo: la superficie de cereal estimada para Segovia en 1990 fue de 186989 ha (37.7 % de la superficie provincial), con unos C.V. de 7% en expansión y 3.3% en regresión (M.A.P.A., 1992).

El método resulta caro para la estimación de superficies en una pequeña demarcación cuando la compra y el proceso de la imagen recaen exclusivamente sobre ella. Las eficiencias relativas son indicativas de la variación de costes que supone alcanzar la precisión deseada por el promotor, cuando se utiliza el estimador por regresión. Si para un muestreo determinado se obtiene una precisión superior a la deseada se está en condiciones de disminuir la tasa de muestreo reduciendo así los costes del trabajo de campo. Si por el contrario no se alcanza la precisión requerida será necesario aumentar el muestreo. Para una precisión predeterminada, el promotor deberá decidir si el incorporar los datos de satélite le compensa el aumento de muestreo necesario para obtener estimaciones con la misma precisión únicamente por expansión.

Tabla 4.- Estadísticas de superficies de los principales cultivos del regadío de Flumen (Huesca) años 1991, 1993 y 1994, frente a las obtenidas por Trabajos Catastrales, S.A. (1990) para el regadío de la Comarca Agraria VI de Navarra.

Cultivos	Superficie por regresión (ha)	% respecto al total del área de estudio	C.V. expansión (%)	C.V. regresión (%)	Eficiencia relativa
FLUMEN					
Arroz					
1991	2453	9.3	31.5	6.7	32.9
1993	2592	7.9	31.3	7.1	25.0
1994	3275	10.0	31.3	3.5	100.0
Alfalfa+Forrajera					
1991	4358	16.6	18.4	8.4	3.9
1993	7005	21.4	12.0	5.4	4.5
1994	6553	20.0	13.3	5.4	5.3
Cereal_{invierno}					
1991	7774	29.5	11.6	5.2	5.3
1993	6706	20.5	13.6	5.6	6.7
1994	6959	21.3	11.3	6.7	3.4
Cebada					
1991	4775	18.1	16.9	11.9	1.9
1993	5050	15.4	18.0	8.4	4.8
1994	3391	10.4	17.6	14.4	1.4
Trigo					
1991	3089	11.7	18.8	16.7	1.5
1993	1749	5.3	21.1	18.3	1.9
1994	3495	10.7	17.0	9.1	5.0
Girasol					
1991	1277	4.9	38.2	27.3	2.8
1993	4672	14.3	12.9	8.1	3.7
1994	2539	7.8	20.5	12.8	2.8
Maíz					
1991	2232	8.5	21.8	10.5	3.5
1993	549	1.7	29.9	21.4	3.7
1994	2537	7.8	15.6	12.5	2.1
NAVARRA					
Cereal _{invierno}	6024	18.3	19	8	3.5
Cebada	2375	7.2	28	21	1.3
Trigo	3168	9.6	24	16	2.1
Girasol	907	2.8	27	27	1.6
Maíz	9436	28.7	14	10	2.6

RECOMENDACIONES

Establecimiento del muestreo por marco de áreas

- Estratificar solamente si el aumento esperable de la precisión de las estimaciones compensa el esfuerzo material y económico de realizar la estratificación. Si se decide estratificar, asegurarse de que tanto el estrato como la muestra resultan suficientemente grandes y representativos como para obtener estimaciones fiables y precisas.

Cuando sea imposible estratificar se recomienda, siempre que sea posible su delimitación, excluir aquellas superficies que pese a estar incluidas dentro del área de estudio no son objeto del aforo, por ejemplo, áreas urbanas, masas de agua, enclaves de secano, masas forestales, etc. en el caso de la estimación de superficies de cultivos en regadío.

- Establecer un marco de áreas sencillo, adaptable y fácilmente manejable. Se recomienda basarse en la malla U.T.M. ya que esta estructura se ajusta perfectamente al concepto del marco de áreas.

- Establecer un criterio sólido y detallado a seguir en la ubicación de las unidades de muestreo dentro del marco de áreas diseñado. Ello es importante cuando el área de estudio se delimite según su contorno natural, y se vaya a utilizar la estructura de la malla U.T.M. como marco de áreas y los segmentos cuadrados como unidades de muestreo.

- Para la mayoría de los trabajos de desarrollo se recomienda el muestreo aleatorio simple, ya que es sencillo y las fórmulas estándar de estimación se refieren a él. Puede ser conveniente dividir el territorio en varias zonas, según un criterio fijado de antemano y sortear individualmente en cada una de estas zonas los segmentos a muestrear. Sin embargo, cuando se prevean cambios futuros de la tasa de muestreo, o posibles post-estratificaciones, se recomienda utilizar el muestreo sistemático que asegura una distribución homogénea de la muestra y una tasa de muestreo prácticamente constante, siendo conscientes de que la varianza de las estimaciones puede quedar distorsionada cuando se utilicen las fórmulas estándar de cálculo.

Si el muestreo es sistemático por bloques, se aconseja adaptar el tamaño de estos a la forma y tamaño del área de estudio.

- Elegir un tamaño de segmento que permita inspeccionarlo en campo en menos de un día, que contenga varias parcelas uso y que no sea mayor que el estrato. Además, el segmento deberá tener un tamaño suficiente para poder localizar e identificar sus límites correctamente. A modo orientativo, y a falta de experiencia, conviene conocer el tamaño de segmento que se ha utilizado en trabajos similares al proyectado. Como ya se ha indicado un tamaño de 25-100 ha es el que se ha usado para áreas de cultivo en regiones de la Unión Europea.

- Aplicar una tasa de muestreo suficiente para obtener las estimaciones con la precisión deseada. El número de segmentos de la muestra debe permitir aplicar las fórmulas de estimación con garantía.

- En los casos aquí presentados se obtuvieron resultados aceptables con segmentos de 500 m × 500 m y tasas de muestreo entre 3% y 5%. En los casos en que el muestreo fue aleatorio sistemático por bloques, un tamaño de estos de 5 km × 5 km resultó adecuado.

Realización del trabajo de campo

- Como los trabajos de campo son caros, convendrá seleccionar cuidadosamente el número de inventarios de campo a realizar asegurándose siempre de cubrir los cultivos presentes y procurando que las campañas coincidan con las fechas de las imágenes de satélite a utilizar o estén lo más próximas posible a ellas.

- Aleccionar a los encuestadores sobre el modo de realizar la encuesta y asegurarse de que son conscientes de la importancia de su trabajo y de que los posibles errores que cometan pueden ser detectados por el satélite.

- Generar una leyenda de campo detallada y clara que permita al encuestador clasificar cada una de las clases presentes en el terreno. Controlar la validez de la leyenda y ajustarla para cada área de estudio en función de las clases presentes.

- Establecer y unificar los criterios de delineación en cuanto a nivel de detalle y asignación de códigos, para conseguir el menor sesgo posible por parte de los encuestadores. Trabajar con más de un grupo de encuestadores contribuirá a compensar posibles sesgos.

Metodología

- Supervisar el trabajo de campo para detectar sobre todo posibles errores sistemáticos asociados a los encuestadores.

- Las superficies inventariadas y digitizadas son la base de las estimaciones que se van a obtener; por eso, se debe ser muy meticuloso en su obtención.

En los regadíos aquí presentados basta con una campaña de observaciones de campo en primavera cuando ya han emergido los cultivos de verano y todavía están presentes los de invierno, y otra de verano para detectar segundas cosechas y posibles cambios en las parcelas que no estaban cultivadas. Ahora bien, si se desean estimaciones tempranas convendrá realizar cuanto antes dos campañas de campo, una para inventariar los cultivos de invierno y otra para los de verano.

Clasificación de las imágenes

- Utilizar al menos dos imágenes de satélite, una de primavera y una de verano, para obtener una clasificación aceptable en demarcaciones con cultivos similares a los de las áreas aquí estudiadas. En estos casos se recomienda una clasificación multitemporal automática.

- En los casos en los que se utilicen segmentos cuadrados, remuestrear el píxel a un tamaño aceptable que sea divisor del lado del segmento. Para segmentos de 500 m de lado un tamaño de píxel de 25 m parece adecuado.

- Eliminar los píxeles de borde de las parcelas en la toma de áreas de entrenamiento.

Estimación de superficies de cultivos

- Estimar las superficies basándose en el total del área de estudio una vez excluidas las áreas que no sean objeto de aforo (masas de agua, núcleos urbanos, etc.).

- Acompañar las estimaciones de sus correspondientes parámetros de precisión y, cuando la normalidad de los cultivos lo permita, de sus intervalos de confianza.

- Ser conscientes de que las fórmulas estándar de estimación de la varianza están desarrolladas bajo el supuesto de que se ha efectuado un muestreo aleatorio simple y para una

muestra de gran tamaño.

Se concluye que los ajustes realizados al método permiten obtener estimaciones con un grado de precisión aceptable en demarcaciones de pequeño tamaño y características similares a las de las estudiadas, lo que pone esta técnica a disposición de cooperativas, empresas u otras entidades que operan en ámbito local.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambrosio L., Alonso R., Villa A. 1993. Estimación de superficies cultivadas por muestreo de áreas y teledetección. Precisión relativa. *Estadística Española* 35 (132): 91-103.
- Artieda O. 1996. Génesis y distribución de suelos en un medio semiárido. Quinto (Zaragoza). M.A.P.A. Serie Técnica. 224 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 (18):3665-3674.
- Campbell J.B. 1987. *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press. New York. 551 pp.
- Casterad M A., Arán M., Herrero J., Albizua L. 1992. Estimación de superficies de cultivos en pequeños regadíos mediante encuesta de terreno y datos de satélite. *Agronomie* 12: 661-668.
- Casterad M A., Herrero J., Martínez-Cob A. 1996. Combinación de datos de terreno, de satélite y meteorológicos para estimar el agua de riego anual por distrito. XIV Congreso Nacional de Riegos, Aguadulce, Almería, 11-13 de junio. Junta de Andalucía, Congresos y Jornadas 37/96: 518-525.
- Chuvieco E. 1996. *Fundamentos de teledetección espacial*. 3ª Edición revisada. Ediciones Rialp. Madrid. 568 pp.
- Cochran W.G. 1977. *Sampling techniques*, 3rd edition. Wiley & Sons, N.Y. 428 pp.
- Congalton R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Cotter J., Nealon J. 1987. Area frame design for agricultural surveys. National Agricultural Statistics Service. U.S. Department of Agriculture. Washington D.C. 67 pp.
- Delincé J., 1988. The test site networks of the agriculture project. Proceedings of the 8th EARSeI Symposium. Alpine and Mediterranean areas: A challenge for remote sensing. Capri (Naples), Italy. 17-20 May. EUR 11851 EN. pp.14-20.
- Erdas. 1994. *ERDAS field guide*. Version 8.1. ERDAS, Inc Atlanta G.A. 394 pp.
- Fournier M.P. 1986. Enquête sur l'utilisation du territoire effectuée en 1985 par la méthode des segments dans Région Ile de France et dans Départements de la Région Centre. *Méthode et Applications Scientifiques*, SCEES, Ministère de L'Agriculture, France. n°13. 63 pp.

- Gallego J. 1990. Stratification for acreage regression estimators through remote sensing. Euro Courses "Application of remote sensing to agricultural statistics crop inventories and area frame sampling". Ispra (Italy), 24-28 septiembre. Commission of the European Communities. Joint Research Centre. 16 pp.
- Gallego J. 1995. Sampling frames of square segments. Joint Research Center. European Commission. Report EUR 16317 EN. 68 pp.
- Gallego J., Delincé J. 1993. Crop area estimates through remote sensing: stability of the regression correction. *International Journal Remote Sensing* 14 (18): 3433-3445.
- Germain M-F. Julien C., 1988. L'application de la télédétection à l'estimation des superficies agricoles. *The Canadian Journal of Statistics* 16 (supplement): 9-23.
- Godard V. 1991. Utilisation conjointe de la télédétection et de l'enquête de terrain lors des inventaires d'occupation du sol. Recherche méthodologique appliquée au Sahel sud-mauritanien. Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, CIRAD. 443 pp.
- González F. 1994. Nota sobre la determinación objetiva de superficies cultivadas en España. Comparación de los resultados obtenidos con tres tamaños de segmentos diferentes en la provincia de Segovia en 1991. *Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales* 9 (3): 509-515.
- González F., López S., Cuevas J.M. 1990. Influencia de la información contenida en imágenes de satélite sobre la precisión de la estimación de la superficie cultivada de cereal en una zona piloto de la Comunidad Autónoma de Navarra. *Monografías I.N.I.A.* 73. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 52 pp.
- González F., López S., Cuevas J. 1991. Comparing two methodologies for crop area estimation in Spain using Landsat TM images and ground-gathered data. *Remote Sensing of Environment* 35: 29-35.
- Hanuschak G.A., Allen R.D., Wigton W.H. 1982. Integration of Landsat data into the crop estimation program of USDA'S Statistical Reporting Service. 1972-1982. 1982 Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium. Purdue University, West Lafayette, IN. 12 pp.
- Herrero J., Aragüés R. 1988. Suelos afectados por salinidad en Aragón. *Surcos de Aragón* 9: 5-10.
- Herrero J., Bercero A. 1991. La salinidad en el nuevo regadío de Quinto (Zaragoza). *Suelo y Planta* 1: 585-602.
- Joint Research Center. 1989. Monitoring agricultural with remote sensing techniques. *Flash Tele-Agri-News*. Commission of the European Communities. Institute for Remote Sensing Applications. Specialized Service Agriculture. Ispra, Italy. Special Publication N° 1.89.34. 20 pp.
- Joint Research Center. 1995. Institute for Remote Sensing Application. Annual Report 93. Report EUR 15953 EN. European Commission. 127 pp.
- M.A.P.A. 1990. El marco de áreas como instrumento de base para la estadística de superficies de cultivos. *Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de*

- Estadística. Diciembre. pp. 85-105.
- M.A.P.A. 1992. Utilización de imágenes de satélite para la estimación de superficies de cultivos en la provincia de Segovia en 1990. Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de Estadística. Marzo. pp. 72-92.
- M.A.P.A. 1993. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos del año 1992. Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de Estadística. Abril. 55 pp.
- M.A.P.A. 1995. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos del año 1994. Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de Estadística. Marzo. 103 pp.
- Mergerson J.W., Hanuschak G.A., Cook P.W. 1982. Applications of satellite remote sensing for U.S. crop acreage estimation, 1980-81 results. 16 th International Symposium on Remote Sensing of Environment. 2-9 June 1982. Buenos Aires, Argentina. Environmental Research Institute of Michigan. Ann Arbor, MI. pp. 59-70.
- Nogués J. 1994. Evaluación de tierras mediante la aplicación del método F.A.O. 1976 y su integración en un sistema de información territorial, en las 26000 ha, (sectores IV al XI), refadas por el Canal del Flumen, (Huesca). Proyecto de Investigación Final de Carrera. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. E.T.S.I.Agraria, Lérida. 160 pp + Anejos y Mapas.
- Ryerson R.A., Dobbins R.N., Thibault C. 1985. Timely crop Area estimates from Landsat. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 51 (11): 1735-1743.
- Riba O., Maldonado A., Puigdefábregas C., Quirantes J., Villena J. 1980. Mapa Geológico de España 1.200 000 (Hoja 32: Zaragoza) y memoria explicativa. 33 pp. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- S.E.R.N. 1990. El uso de las imágenes de satélite en el análisis de la distribución espacial de cultivos. Aplicación metodológica en el Bajo Guadalquivir. Servicio de Evaluación de Recursos Naturales. Agencia del Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 131 pp.
- Sigman R., Gleason, C.P., Hanuschack, G.A., Starbuck, R.R. 1977. Stratified acreage estimates in the Illinois crop-agreage experiment. 1977 Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium. Puerdue University, West Lafayette, Indiana. pp. 80-90.
- Trabajos Catastrales S.A.1990. Informe estadística agraria 1990. Comarcas agrarias VI y VII. Método marco de áreas y estimación por regresión. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes del Gobierno de Navarra. Trabajos Catastrales, S.A., Departamento de Teledetección, Pamplona. 80 pp.+ anejos.
- Thompson S.K.1992. Sampling. J. Wiley & Sons, New York.. 343 pp.

II.2.- EVALUACIÓN DE DIFERENTES IMÁGENES LANDSAT 5 TM Y DE VARIOS MODOS DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA PARA LA DISCRIMINACIÓN DE CULTIVOS.

RESUMEN

El método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite se considera ya como un método estándar para la obtención de estadísticas de superficies de cultivos. En dicho método, la clasificación de las imágenes de satélite proporciona los datos a utilizar en la regresión para mejorar las estimaciones obtenidas a partir de información del terreno. La optimización del proceso de clasificación agilizará y mejorará la estimación de superficies. En este trabajo se utilizan cuatro imágenes Landsat TM del regadío de Flumen (Huesca), dos de 1993 y dos de 1994. Se ensayan doce clasificaciones supervisadas diferentes por año con firmas espectrales obtenidas de imágenes unitemporales y multitemporales para las ocupaciones de primavera y verano, aplicando también tres formas diferentes de toma de áreas de entrenamiento (automática, semiautomática y manual). La bondad de las clasificaciones se evalúa con varias medidas de exactitud. La clasificación multitemporal automática resulta la más idónea. Además se constata la influencia de la fecha de las imágenes en la discriminación de cultivos, indicando cuáles son las imágenes más adecuadas para su discriminación.

Palabras clave: Landsat 5 TM, clasificación supervisada, exactitud, teledetección.

SUMMARY

The performances of different Landsat 5 TM images and modalities of supervised classification for crops discrimination.

The method of area frame sampling and regression estimator with satellite data has become a standard for crop area statistics in many countries. Data provided by image classification are used in regression in order to improve estimates obtained only from ground survey. The optimization of the classification procedures will ease and improve the area estimates. In this work we use four Landsat 5 TM images from the irrigated district of Flumen (Huesca, Spain), two dated from 1993 and another two from 1994. Twelve supervised classifications by year are applied using spring and summer land occupations spectral signatures obtained from the unitemporal and multitemporal images, with three different kinds of training areas selection (automated, semiautomated, and manual). The automatic multitemporal classification was found to be the most sound, after applying several accuracy indices to know how good every classification was. The influence of the image date on the crop classification was also studied, and this article shows which images are the most suitable in crop discrimination.

Key words: Landsat 5 TM, supervised classification, accuracy, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años, en el Servicio de Investigación Agroalimentaria (S.I.A.) de la Diputación General de Aragón se viene utilizando la clasificación supervisada de imágenes Landsat 5 TM para cartografiar los cultivos de diferentes demarcaciones aragonesas. La información obtenida de la clasificación se combina con datos de terreno para estimar, mediante el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite, los aforos de superficies de dichos cultivos (Casterad et al., 1992; Barbosa et al., 1996; Casterad et al., 1996).

La precisión de las estimaciones por este método está condicionada, entre otros factores, por la calidad de la clasificación, de ahí el interés de optimizar esta. De los dos grupos de métodos de clasificación, supervisada y no supervisada, el primero suele dar los resultados más precisos (Gandía y Meliá, 1991) y es el que mejor se ajusta a los propósitos perseguidos, ya que tiende a discriminar clases informacionales (Chuvioco, 1996). Dentro de los métodos de clasificación supervisada, para este trabajo se ha utilizado el de máxima verosimilitud que es el más empleado y robusto.

En el proceso de clasificación intervienen múltiples factores y variables como tipo de cubiertas, estado desarrollo y fenología de las mismas, bandas a utilizar, procedimiento de toma de áreas de entrenamiento, fecha de las imágenes, multitemporalidad, etc. Conocer su influencia en la clasificación exige numerosas pruebas. Lógicamente la mayoría de los trabajos de desarrollo no pueden abordar dichas pruebas, limitándose a aplicar una metodología de clasificación predeterminada. En España, la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía analizó diferentes variables y alternativas de clasificación de imágenes Landsat TM (Lobato y Moreiras, 1991) dentro de un proyecto en el que desarrollaron una metodología para la obtención de estadísticas agrarias mediante imágenes de satélite. Dicha metodología estaba basada en las recomendaciones de la Unión Europea en este tipo de aplicaciones.

En esta línea, un trabajo del S.I.A. (Barbosa et al., 1996) comparó los aforos de superficies de cultivos en el regadío de Flumen (Huesca) obtenidos al aplicar un estimador por regresión a partir de cuatro clasificaciones supervisadas por el método de máxima

verosimilitud: (i) clasificación manual de una imagen de primavera correspondiente al 20 de mayo de 1991; (ii) clasificación manual de una imagen de verano correspondiente al 24 de agosto de 1991; (iii) clasificación multitemporal-manual; y (iv) clasificación multitemporal-automática. Esta comparación mostró que la mejora que cada una de las clasificaciones ensayadas produce en la precisión de la estimación difiere en cada caso y para cada cultivo u ocupación. Sin embargo, ninguna de las clasificaciones se mostró mejor que las demás al considerar todas las clases en conjunto. Se requerirían estudios complementarios para ratificar los resultados de Barbosa et al. (1996) y poder determinar cuál es el mejor método de clasificación a aplicar para la discriminación de los principales cultivos en los regadíos aragoneses.

En este artículo se evalúan y comparan clasificaciones supervisadas unitemporales y multitemporales con toma de áreas de entrenamiento automática, semiautomática y manual, realizadas por el método de máxima verosimilitud en un área de cultivo representativa de los regadíos aragoneses, como es el polígono de riego de Flumen (Huesca) para 1993 y 1994, y se analiza la influencia de la fecha de las imágenes en la discriminación de cultivos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Dos imágenes anuales del área de estudio (6 de marzo y 12 de julio de 1993 y 28 de mayo y 29 de junio de 1994) se clasificaron individual y conjuntamente de forma supervisada mediante el clasificador de máxima verosimilitud descrito en ERDAS (1994). El preprocesado previo a la clasificación consistió en: visualización y realce de la imagen, recorte de una subimagen conteniendo el área de estudio, corrección radiométrica y corrección geométrica de dicha subimagen. Las áreas de entrenamiento se seleccionaron de forma manual, automática y semiautomática a partir de una muestra de verdad-terreno obtenida mediante un muestreo aleatorio sistemático por bloques. Las unidades muestreadas fueron cuadrados de 500 m de lado.

En la selección manual el operador elige, a partir de la información de terreno disponible, qué píxeles sirven como entrenamiento. En la automática se utiliza toda la información disponible una vez eliminados los píxeles de borde que corresponden a los

límites de las parcelas-uso identificadas en el terreno. En la semiautomática el operador parte de la selección de píxeles realizada en la automática y analiza los histogramas de cada banda obtenidos para cada clase. Si estos presentan varios picos se crean dentro de cada clase, siempre que sea posible, diferentes subclases espectralmente homogéneas. Para ello, y con el apoyo de la interpretación de la imagen visualizada y de las observaciones de campo anotadas al seleccionar la información de terreno, se analiza si los picos observados corresponden a alguna característica temática del cultivo (estado de desarrollo diferente, distinto manejo, etc.).

Para el presente trabajo se realizaron doce clasificaciones diferentes por año, resultantes de combinar las tres formas de toma de áreas de entrenamiento con las imágenes. De estas doce, seis fueron unitemporales (tres con la imagen de primavera, 6 de marzo en 1993 y 28 de mayo en 1994, y tres con la de verano, 12 de julio en 1993 y 29 de junio en 1994); tres multitemporales con firmas correspondientes a los cultivos y ocupaciones de primavera; tres multitemporales con firmas correspondientes a los cultivos y ocupaciones de verano.

Las clasificaciones se evaluaron a partir de la matriz de confusión (Story y Congalton, 1986; Congalton 1991) entre la verdad-terreno y lo clasificado en las unidades de muestreo, previa eliminación de los píxeles de borde. Se calculó la fiabilidad global (FG) de cada clasificación y se estimó el estadístico Kappa (κ). La FG es el estadístico descriptivo más simple que se deriva de la matriz, y relaciona el número de píxeles correctamente clasificados con el total de píxeles en las unidades muestreadas.

$$FG = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}} \times 100$$

donde X_{ii} son los elementos de la diagonal de la matriz o píxeles correctamente clasificados (número de observaciones en la fila i columna i) y X_{ij} cada píxel muestreado (número de observaciones en fila i columna j)

La estimación de κ se obtiene mediante la siguiente fórmula (Bishop et al., 1975; Hudson y Ramm, 1987):

$$\hat{\kappa} = \frac{N \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^n X_{i+} X_{+i}}$$

donde X_{i+} son los marginales de la fila i , X_{+i} los marginales de la columna i , y N es el número total de píxeles u observaciones.

Kappa, a diferencia de FG, considera todos los valores de la matriz de confusión y tiene en cuenta qué parte de la coincidencia o acierto entre lo existente en campo y lo clasificado se ha debido al azar (Campbell, 1987).

Estas dos medidas reflejan la exactitud de la clasificación en su conjunto pero no muestran qué pasa con cada clase particular. Por eso para cada clase se calculó:

(i) la fiabilidad del ^{productor} usuario (Fu) o probabilidad de que los píxeles de referencia (categoría en el terreno) estén correctamente clasificados y la fiabilidad del ^{usuario} productor (Fp) o probabilidad de que los píxeles clasificados representen realmente la categoría en el terreno (Congalton, 1991)

$$F_u = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100 \qquad F_p = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100$$

(ii) los índices de Hellden (IH) y Short (IS) que relacionan los píxeles correctamente clasificados con los marginales de la matriz de confusión (Rosenfield y Fitzpatrick-Lins, 1986)

$$I_H = \frac{2 X_{ii}}{X_{i+} + X_{+i}} \times 100 \qquad I_S = \frac{X_{ii}}{X_{i+} + X_{+i} - X_{ii}} \times 100$$

(iii) el estadístico Kappa cuya estimación es (Bishop et al., 1975; Rosenfield y Fitzpatrick-Lins, 1986)

$$\hat{\kappa} = \frac{N X_{ii} - X_{i+} X_{+i}}{N X_{i+} - X_{i+} X_{+i}}$$

Fitzgerald y Less (1994) sugieren tres intervalos de ajuste para el estadístico Kappa que son los que se van a adoptar en este artículo. Así, según sea $\kappa < 0.4$, $0.4 \leq \kappa \leq 0.75$ y $\kappa > 0.75$ la clasificación se considera mala, buena o excelente.

La comparación entre clasificaciones se estableció a partir de un test de hipótesis que permite saber si dos matrices difieren significativamente una de otra ($H_0: \kappa_1 = \kappa_2$). El test utilizado fue:

$$Z = \frac{\hat{\kappa}_1 - \hat{\kappa}_2}{\sqrt{V\hat{\kappa}_1 + V\hat{\kappa}_2}}$$

donde Z es la desviación normal estándar (Rosenfield y Fitzpatrick-Lins, 1986; Congalton y Mead, 1983), $\hat{\kappa}$ estimador de Kappa para cada matriz a comparar y $V\hat{\kappa}$, varianza de Kappa cuya fórmula puede encontrarse en Bishop et al. (1975) y Hudson y Ramm (1987).

La hipótesis nula se acepta o rechaza a partir del valor de Z y de la tabla de distribución normal, en función del nivel de significación que se fije.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta dos de las medidas de exactitud de las clasificaciones efectuadas, la fiabilidad global (FG) y el valor estimado de Kappa ($\hat{\kappa}$). Además se incluye la varianza de $\hat{\kappa}$. En general, las clasificaciones multitemporales son más exactas que la unitemporales ya que presentan valores más altos de FG y $\hat{\kappa}$, y $V\hat{\kappa}$ más bajas. Cuando se comparan las clasificaciones de los dos años estudiados se aprecia que las correspondientes a 1994 son mejores que las de 1993 (valores de FG y $\hat{\kappa}$ más altos) siendo, por tanto, más adecuadas las fechas de las imágenes utilizadas en 1994 que las de 1993. De todos modos la diferencia de la exactitud obtenida con las imágenes de un año y otro es mayor cuando se comparan las clasificaciones obtenidas con las imágenes de primavera que cuando se comparan las de verano, lógico si se tiene en cuenta que las dos imágenes de primavera

corresponden a fechas muy diferentes (6 de marzo y 28 de mayo) en las que los cultivos presentan estados de desarrollo totalmente distintos.

En general los valores más bajos de FG y $\hat{\kappa}$ se dan para la selección de áreas de entrenamiento manual y los más altos para la semiautomática, si bien la semiautomática difiere poco de la automática.

Tabla 1.- Fiabilidad global, valor estimado de Kappa ($\hat{\kappa}$) y varianza de Kappa ($V\hat{\kappa}$) para diferentes clasificaciones supervisadas del regadío de Flumen (Huesca).

Clases	Unitemporal			Multitemporal		
	FG %	$\hat{\kappa}$ $\times 100$	$V\hat{\kappa}$ $\times 10^{-6}$	FG %	$\hat{\kappa}$ $\times 100$	$V\hat{\kappa}$ $\times 10^{-6}$
1993						
<i>Automática</i>						
Primavera	65.14	44.59	49.45	71.70	61.18	37.47
Verano	68.62	54.43	40.14	72.53	61.56	35.77
<i>Semiautomática</i>						
Primavera	65.69	44.84	50.21	73.35	63.69	35.79
Verano	69.43	55.51	39.73	73.44	62.83	35.07
<i>Manual</i>						
Primavera	63.57	43.31	48.54	64.49	53.72	36.53
Verano	65.52	52.83	37.04	63.23	51.95	34.55
1994						
<i>Automática</i>						
Primavera	73.83	64.53	37.58	77.09	69.62	32.70
Verano	69.54	56.32	39.65	75.53	66.38	34.27
<i>Semiautomática</i>						
Primavera	73.32	63.67	38.25	77.35	70.03	32.13
Verano	70.20	57.26	39.60	76.62	68.06	33.24
<i>Manual</i>						
Primavera	70.26	61.22	36.48	71.06	63.13	33.35
Verano	63.05	50.98	36.87	68.18	58.72	34.33

La Tabla 2 muestra los valores del estadístico Z obtenidos para analizar si existen diferencias significativas entre clasificaciones.

Al comparar entre sí las clasificaciones unitemporales, se ve que todos los valores de Z están por debajo de 7.5, y que siete de las doce comparaciones realizadas no presentan diferencias significativas al 95%, es decir en estos casos no hay diferencia entre tomar las áreas de entrenamiento por uno u otro procedimiento. En cambio la comparación entre las

Metodología

clasificaciones multitemporales presenta valores de Z superiores a los de las unitemporales (ocho de las doce comparaciones tienen $Z > 7.5$), no presentando diferencias significativas al 95% dos de las doce comparaciones realizadas.

Tabla 2.- Valores de Z y su significación para la comparación de clasificaciones supervisadas del regadío de Flumen (Huesca).

	1993		1994	
	Primavera	Verano	Primavera	Verano
<i>Unitemporal-Unitemporal</i>				
Automática-Semiautomática	0.25 ns	1.21 ns	0.99 ns	1.06 ns
Automática-Manual	1.29 ns	1.82 ns	3.94 **	6.10 **
Semiautomática-Manual	1.54 ns	3.06 **	2.83 **	7.18 **
<i>Multitemporal-Multitemporal</i>				
Automática-Semiautomática	2.93 **	1.51 ns	0.51 ns	2.04 *
Automática-Manual	8.67 **	11.46 **	7.99 **	9.25 **
Semiautomática-Manual	11.72 **	13.04 **	8.53 **	11.36 **
<i>Unitemporal-Multitemporal</i>				
Automática-Automática	17.79 **	8.18 **	6.07 **	11.70 **
Automática-Semiautomática	20.69 **	9.69 **	6.59 **	13.75 **
Automática-Manual	9.85 **	2.87 **	1.66 ns	2.79 **
Semiautomática-Automática	17.45 **	6.96 **	7.06 **	10.61 **
Semiautomática-Semiautomática	20.33 **	8.46 **	7.58 **	12.65 **
Semiautomática-Manual	9.53 **	4.13 **	0.64 ns	1.79 ns
Manual-Automática	19.27 **	10.23 **	10.10 **	18.26 **
Manual-Semiautomática	22.19 **	11.78 **	10.64 **	20.40 **
Manual-Manual	11.29 **	1.04 ns	2.29 *	9.17 **

Al comparar las clasificaciones unitemporales entre sí, así como las multitemporales entre sí, se observa que en cada uno de los cuatro casos, primavera 1993, verano 1993, primavera 1994 y verano 1994, los valores más altos de Z corresponden a las parejas en las que interviene la clasificación manual. Las clasificaciones realizadas a partir de áreas de entrenamiento automáticas y semiautomáticas no presentan en general diferencias significativas al 95%, mientras que la manual, en general, difiere significativamente tanto de la automática como de la semiautomática. En cambio, cuando las clasificaciones unitemporales se comparan con las multitemporales, las parejas en las que interviene la clasificación manual presentan los valores más bajos de Z, no existiendo diferencias significativas para 1994 entre unitemporal-automática y multitemporal-manual en primavera y entre unitemporal-semiautomática y multitemporal-manual en primavera y verano de 1994.

Así pues, la clasificación multitemporal-automática parece ser la más adecuada para una discriminación global de todas las clases, pues si bien la multitemporal-semiautomática proporciona resultados ligeramente mejores, su ejecución es mucho más laboriosa y en general no difiere significativamente de la multitemporal-automática (Tabla 2).

La comparación de diferentes medidas de exactitud por clases muestra que el índice Short (IS) da los valores más bajos tendiendo a infraestimar la exactitud de la clasificación, y que el porcentaje correcto (fiabilidad del usuario) tiende a sobreestimarla. El índice de Hellden (IH) refleja la fiabilidad del usuario y del productor conjuntamente ya que es la media armónica de dichas medidas, observándose un predominio de las clases con $IH > \hat{\kappa} \times 100$. Estos resultados concuerdan con los presentados por Rosenfield y Fitzpatrick-Lins (1986). De todos modos estos autores ya indican que las observaciones realizadas sobre las diferentes medidas de exactitud no siempre son válidas ya que los coeficientes utilizados dependen del valor relativo y localización de la frecuencia de píxeles en la matriz de confusión.

De todos las medidas de exactitud ensayadas, IH y $\hat{\kappa}$ se consideran las más representativas y las más indicadas para expresar y analizar la exactitud de las clasificaciones clase a clase. En las Tablas 3 y 4 se presentan las exactitudes obtenidas para cada clase en cada una de las clasificaciones ensayadas.

Se puede afirmar que para todas las clases, y al igual que ocurría en el análisis global de las clasificaciones, la clasificación multitemporal proporciona en general valores más altos de exactitud que la unitemporal, si bien en algunos casos las diferencias no son muy grandes. También la elección semiautomática parece proporcionar los mejores resultados, aunque con escasas diferencias con la automática. La clasificación multitemporal-automática se confirma como la más adecuada para el aforo de superficies de cultivo en el regadío de Flumen.

Estos resultados contrastan con los presentados por Barbosa et al. (1996) donde la clasificación multitemporal-manual se muestra en general como la mejor. Esta discrepancia se debe probablemente a que en la clasificación manual el criterio seguido por el operador en la toma de áreas de entrenamiento influye en el resultado final.

Tabla 3.- Índice de Hellden (IH) y Kappa ($\hat{\kappa}$) de los principales cultivos del regadío de Flumen (Huesca) para diferentes clasificaciones supervisadas.

Clases	Unitemporal				Multitemporal			
	1993		1994		1993		1994	
	IH	$\hat{\kappa} \times 100$	IH	$\hat{\kappa} \times 100$	IH	$\hat{\kappa} \times 100$	IH	$\hat{\kappa} \times 100$
Alfalfa+forrajeras								
<i>Primavera</i>								
Automática	52.09	45.51 b	77.63	83.46 e	65.02	65.77 b	80.06	83.83 e
Semiautomática	51.93	51.04 b	77.36	84.07 e	70.42	67.14 b	80.34	84.15 e
Manual	50.80	42.97 m	76.56	72.10 b	64.32	66.28 b	78.02	83.46 e
<i>Verano</i>								
Automática	66.64	56.66 b	71.79	63.41 b	72.17	69.21 b	81.28	84.01 e
Semiautomática	68.45	58.13 b	72.20	67.59 b	74.27	70.84 b	82.31	85.76 e
Manual	65.91	55.42 b	65.89	75.98 e	66.14	60.88 b	74.81	85.66 e
Arroz								
<i>Primavera</i>								
Automática			93.16	96.55 e	86.64	84.98 e	92.52	97.82 e
Semiautomática			93.08	96.45 e	86.28	83.77 e	92.52	97.82 e
Manual			92.73	97.35 e	80.35	75.79 e	91.82	97.98 e
<i>Verano</i>								
Automática	83.65	79.78 e	86.28	81.79 e	85.93	83.99 e	92.68	98.44 e
Semiautomática	83.03	78.18 e	86.33	81.81 e	86.04	84.64 e	92.68	98.44 e
Manual	75.72	67.26 b	84.22	87.57 e	80.86	75.68 e	92.15	99.30 e
Cereal de invierno								
<i>Primavera</i>								
Automática	58.43	52.12 b	68.27	56.68 b	75.76	68.96 b	79.34	73.79 b
Semiautomática	59.25	51.57 b	66.62	60.49 b	77.41	70.36 b	79.74	72.61 b
Manual	58.92	49.70 b	68.41	53.56 b	76.22	70.75 b	76.53	68.10 b
Girasol								
<i>Verano</i>								
Automática	41.99	45.41 b	14.88	25.77 m	59.26	57.89 b	48.58	50.47 b
Semiautomática	43.40	53.57 b	22.62	38.84 m	60.84	60.38 b	56.02	54.92 b
Manual	49.22	39.95 m	28.89	24.26 m	54.91	47.62 b	47.15	47.97 b
Maíz								
<i>Verano</i>								
Automática	0.00	-	19.24	28.33 m	37.35	34.30 m	53.11	53.98 b
Semiautomática	0.00	-1.99 m	25.26	35.68 m	35.73	32.15 m	58.15	58.39 b
Manual	6.25	8.56 m	32.02	24.29 m	34.22	35.74 m	50.81	43.99 m

Los valores más altos de IH y $\hat{\kappa}$ en el caso de la alfalfa+forrajeras se obtienen, tanto en 1993 como en 1994, con la clasificación multitemporal de verano y resulta ser, tras el arroz, el cultivo que mejor se discrimina. La imagen de primavera de 1993 es demasiado temprana para discriminar la clase alfalfa+forrajera, ya que su escaso desarrollo en esta fecha, primeros de marzo, provoca confusiones principalmente con los cereales de invierno

y con la clase sin cultivo. Pese a ello una imagen de estas fechas puede ser útil si no se dispone de otras imágenes. Barbosa et al.(1996) apuntan que la selección de la imagen para la discriminación de este cultivo está condicionada por los cortes que al mismo se le practican. Los resultados obtenidos lo confirman pues la exactitud obtenida varía substancialmente de una a otra fecha.

Tabla 4.- Índice de Hellden (IH) y Kappa ($\hat{\kappa}$) de otras clases del regadío de Flumen (Huesca) para diferentes clasificaciones supervisadas.

Clases	Unitemporal				Multitemporal			
	1993		1994		1993		1994	
	IH	$\hat{\kappa} \times 100$	IH	$\hat{\kappa} \times 100$	IH	$\hat{\kappa} \times 100$	IH	$\hat{\kappa} \times 100$
Pinos								
<i>Primavera</i>								
Automática	52.34	79.57 e	21.34	66.74 b	72.22	79.00 e	70.86	69.68 b
Semiautomática	52.96	80.54 e	25.95	68.68 b	72.17	72.98 b	70.23	68.88 b
Manual	50.80	82.79 e	25.93	36.39m	63.03	56.78 b	61.99	58.98 b
<i>Verano</i>								
Automática	48.21	63.58 b	43.70	53.11 b	69.63	69.65 b	70.05	71.50 b
Semiautomática	48.43	62.17 b	43.58	52.73 b	70.07	69.59 b	69.88	71.13 b
Manual	48.26	56.41 b	40.00	32.59m	59.34	46.50 b	59.83	52.90 b
Sin cultivo								
<i>Primavera</i>								
Automática	76.76	44.94 b	75.43	54.87 b	74.02	54.28 b	77.05	63.50 b
Semiautomática	76.64	42.19 m	75.00	50.49 b	74.23	59.01 b	77.69	66.34 b
Manual	75.44	47.02 b	71.97	70.14 b	65.36	55.98 b	72.67	76.05 e
<i>Verano</i>								
Automática	79.05	52.86 b	79.96	52.59 b	81.08	65.12 b	83.17	66.41 b
Semiautomática	79.20	52.42 b	80.16	52.23 b	81.54	66.24 b	83.39	68.61 b
Manual	77.90	70.02 b	78.22	65.73 b	73.97	77.44 e	79.18	76.33 b
Otras clases								
<i>Primavera</i>								
Automática	5.00	1.84 m	9.17	5.20 m	16.80	9.52 m	10.17	4.62 m
Semiautomática	5.63	2.53 m	8.35	4.50 m	18.05	10.53 m	9.63	4.21 m
Manual	8.81	3.99 m	8.19	2.94 m	10.14	3.97 m	8.31	2.64 m
<i>Verano</i>								
Automática	8.53	4.59 m	15.51	10.20 m	8.02	3.62 m	11.60	5.43 m
Semiautomática	9.23	5.07 m	13.44	8.35 m	8.44	3.90 m	12.62	6.11m
Manual	6.62	2.56 m	9.25	3.28 m	4.82	1.24 m	10.31	3.63 m

El arroz es el cultivo que mejor se discrimina, presentando para todas las clasificaciones ensayadas valores de IH y de $\hat{\kappa} \times 100$ superiores a 75%, exceptuando la $\hat{\kappa}$ de la clasificación unitemporal-manual de verano de 1993. La causa es la respuesta espectral

Metodología

del arroz tan diferenciada del resto de los cultivos, al permanecer inundado durante gran parte de su ciclo. Al avanzar el ciclo del arroz, la cobertura aumenta empeorando ligeramente la discriminación. Los resultados corroboran lo indicado y concuerdan con los obtenidos por Barbosa et al. (1996). Así, los valores más altos de IH y $\hat{\kappa}$ en las clasificaciones unitemporales se obtienen con la imagen del 28 de mayo (primavera 1994), seguidos de los de la imagen del 29 de junio (verano 1994) y presentando los más bajos la del 12 de julio (verano 1993). Una única imagen de primavera permitirá discriminar muy bien el arroz.

Tras la alfalfa+forrajeras y el arroz, el cereal de invierno es el cultivo que mejor se discrimina. Con las clasificaciones multitemporales se obtienen buenas exactitudes (IH superiores al 75% y $\hat{\kappa} \times 100$ en torno al 70%), sin embargo las unitemporales dan peores resultados debido a la fecha de las imágenes utilizadas. Al igual que ocurría con la alfalfa+forrajeras, la imagen de 1993 es demasiado temprana y el cereal de invierno apenas está desarrollado, confundiéndose principalmente con alfalfa+forrajeras y con sin cultivo. Esta imagen muestra que es posible una discriminación aceptable con una imagen temprana cuando se carece de otra mejor.

Los resultados obtenidos con la imagen del 28 de mayo 1994 (primavera en las Tablas) son buenos pese a ser esta imagen algo tardía, y similares a los obtenidos por Barbosa et al. (1996) con una imagen del 20 de mayo de 1991. Se ensayó además la discriminación de esta clase con una imagen todavía más tardía como es la del 29 de junio de 1994. En esta fecha el cereal de invierno ya está a punto de cosecharse e incluso en algunas parcelas ya se han cosechado confundiéndose espectralmente con la clase sin cultivo. Un análisis más detallado, a partir de clasificaciones unitemporales en las que se incluyen las clases cebada y trigo en lugar de la clase de cereal de invierno, muestra que es la cebada el cereal de invierno que más se confunde con la clase sin cultivo (sobre el 75% al seleccionar las áreas de entrenamiento automática y semiautomáticamente, y 56% al seleccionarlas manualmente), mientras que en el trigo esta confusión es mucho menor (40-45% y 28% respectivamente).

Este mismo análisis a partir de la imagen del 28 de mayo de 1994 denota que la confusión de la cebada con la clase sin cultivo es del 53% con la selección de áreas de entrenamiento automática, del 46% con selección semiautomática, y del 21% con selección manual; y que la confusión del trigo con sin cultivo es del 19% con selección automática y semiautomática y del 5% con selección manual. Esto corrobora la idea de que una imagen tardía elegida en la fecha adecuada puede ser de gran utilidad para discernir entre cebada y trigo. Además muestra que la selección de áreas de entrenamiento manual es la más adecuada en este caso.

El girasol y el maíz son los dos cultivos que presentan peores resultados con valores de IH y de $\hat{\kappa} \times 100$ menores de 60%. Las clasificaciones unitemporales a partir de las imágenes disponibles no permitieron una discriminación aceptable de estos cultivos. La respuesta espectral del girasol es muy heterogénea debido a lo escalonado de las siembras; además en 1993 muchas parcelas apenas se cuidaron, por utilizarse el girasol sólo para obtener la subvención otorgada a la siembra por la Unión Europea. La clasificación unitemporal de la imagen de 1994 proporciona los peores resultados. Esta imagen resulta demasiado temprana para discriminar el girasol, ya que el cultivo todavía no está muy desarrollado. La clasificación unitemporal de 1993 discriminó el girasol mejor que la de 1994 tanto por la mejor adecuación de la fecha de la imagen, como por la mayor disponibilidad de áreas de entrenamiento al darse una mayor representación del cultivo en el regadío. Los resultados de Barbosa et al. (1996) confirman la dificultad de discriminar este cultivo, si bien el análisis visual de las clasificaciones de la imagen del 12 de julio de 1993 muestra que las parcelas con buen desarrollo se distinguen bien.

La escasa representación del maíz en 1993 dificulta notablemente su discriminación y no permite obtener resultados aceptables con ninguna de las clasificaciones ensayadas. Es más, en el caso de la clasificación unitemporal-automática y semiautomática, ninguna de las áreas de entrenamiento seleccionadas de maíz se clasificaron como tal. En 1994 la clasificación multitemporal permite su discriminación pese a lo temprano de las imágenes utilizadas, pero las unitemporales vuelven a dar pobres resultados. Barbosa et al. (1996) obtuvieron resultados algo mejores con una imagen más tardía. De todos modos tanto para

el maíz como para el girasol sería interesante ensayar con una imagen de entre finales de julio a mediados de agosto, época de máximo desarrollo del cultivo.

Cuando se realiza una clasificación unitemporal con poca superficie de entrenamiento, caso del maíz, la selección manual proporciona mejor fiabilidad del usuario y del productor y por tanto mejores IH, si bien $\hat{\kappa} \times 100$ sigue siendo peor.

La clase pinos corresponde a pinares poco densos en laderas o en áreas de recreo. Las clasificaciones multitemporales permiten una buena discriminación con exactitudes próximas a las conseguidas para el cereal de invierno. Las clasificaciones unitemporales con la imagen de primavera de 1993 también proporcionan buenos resultados, como corresponde a una especie perenne que resalta en estas fechas frente a las áreas sin cultivo y a los cultivos poco desarrollados en esa época. Para las clasificaciones unitemporales los valores de IH y $\hat{\kappa} \times 100$ difieren substancialmente, siendo mayores estos últimos.

Esto también se observa en la clase sin cultivo, si bien en este caso IH es mayor que $\hat{\kappa} \times 100$ para todas las clasificaciones. La discriminación de esta clase es buena y todas las clasificaciones presentan exactitudes parecidas, siendo ligeramente mejores las de verano.

El procedimiento de clasificación seguido establece un cajón de sastre en el que se incluyen aquellos píxeles incluidos en las clases temáticas con una probabilidad de pertenencia a ellas por debajo de un umbral determinado. Este grupo de píxeles se considera pertenecen a otras clases, y así se denominan, como si fuesen una clase temática, y obviamente tal clase recoge las peores exactitudes.

CONCLUSIONES

De entre las clasificaciones ensayadas, la multitemporal con toma de áreas de entrenamiento automática se ha mostrado como la más idónea para el aforo de superficies de cultivos en el regadío de Flumen (Huesca).

En general, el procedimiento semiautomático de selección de áreas de entrenamiento proporciona clasificaciones más exactas que el automático, con diferencias no significativas.

Las clasificaciones con selección manual son peores, con diferencias significativas respecto a las obtenidas con los anteriores procedimientos; sin embargo, la subjetividad del operador al tomar las áreas de entrenamiento influye en la clasificación, de ahí que la extrapolabilidad de la anterior valoración sea limitada.

Las fechas de las imágenes de 1994 son en conjunto más adecuadas que las de 1993, como lo señala la mayor exactitud de las clasificaciones en 1994.

Se confirman los resultados obtenidos por Barbosa et al. (1996) para cada clase en este regadío, y se concluye que:

- La clase alfalfa+forrajeras se clasifica bien y esta influenciada por la fecha de los cortes. Una imagen temprana, anterior al mes de abril, puede ser útil, a falta de otras, para discriminar esta clase así como los cereales de invierno.

- El arroz es la clase que mejor se clasifica. Una única imagen, nada más implantarse el cultivo ya da muy buenos resultados.

- El cereal de invierno también se clasifica aceptablemente, siendo las clasificaciones multitemporales mejores que las unitemporales. Una imagen de junio puede ser útil para discriminar cebada de trigo.

- El girasol y el maíz son los dos cultivos peor clasificados. Las clasificaciones multitemporales permiten una discriminación aceptable de dichos cultivos que no es posible con las unitemporales.

- Los pinos pueden clasificarse bien con una única imagen de principio de año.

- La clase sin cultivo también presenta una buena discriminación en todas las fechas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 (18): 3665-3674.

Metodología

- Bishop Y.M.M., Fienberg S.E., Holland P.W. 1975. Discrete multivariate analysis. Theory and practice. The Massachusetts Institute of Technology. 552 pp.
- Campell J.B. 1987. Introduction to remote sensing. The Guilford Press. New York. 551 pp.
- Casterad M A. 1996. Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones. Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales 11 (2). En prensa.
- Casterad M.A., Arán M., Herrero J., Albizua L. 1992. Estimación de superficies de cultivos en pequeños regadíos mediante encuesta de terreno y datos de satélite. Agronomie 12: 661-668.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. 3ª edición revisada. Ediciones Rialp. Madrid. 568 pp.
- Congalton R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37: 35-46.
- Congalton R.G., Mead, R. A. 1983. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 49(1): 69-74.
- ERDAS. 1994. ERDAS field guide. Version 8.1. ERDAS, Inc Atlanta G.A., 394 pp.
- Fitzgerald R.W., Less B.G. 1994. Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data. Remote Sensing of Environment 47: 362-368.
- Gandía S., Meliá J. 1991. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura. Curso de Postgrado. Universidad de Valencia. Unidad de Teledetección. Departamento de Termodinámica. 409 pp.
- Hudson W.D., Ramm. C.W. 1987. Correct formulation of Kappa coefficient agreement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 53 (4): 421-422.
- Lobato A., Moreiras J.M. 1991. Análisis metodológico y de resultados de diferentes alternativas de clasificación de imágenes de satélite para la obtención de estadísticas agrarias. IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. Sevilla. pp 287-294.
- Rosenfield G.H., Fitzpatrick-Lins K. 1986. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 52 (2): 223-227.
- Story M., Congalton R.G. 1986. Accuracy assessment: a user's perspective. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 52 (3): 397-399.

Capítulo III.- Resultados: Estimación de superficies de cultivos

III.1.- ESTIMACIÓN DE SUPERFICIES DE CULTIVOS EN PEQUEÑOS REGADÍOS MEDIANTE ENCUESTA DE TERRENO Y DATOS DE SATÉLITE¹

RESUMEN

La teledetección es de gran utilidad para el seguimiento y evaluación de zonas agrícolas, cuyas principales rentas en la España semiárida provienen de los regadíos. Los problemas de competencia por el agua, medioambientales y de mercado, subrayan la necesidad de obtener información rápida y precisa de la superficie de los diferentes cultivos en cada regadío. En este artículo, el método de muestreo del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite se ha adaptado al inventario de cultivos en tres regadíos del valle del Ebro. El pequeño tamaño de éstos regadíos sitúa al método en el límite de su aplicabilidad, por lo que se ensaya la utilización de tasas de muestreo superiores a las habituales. Se presentan las estadísticas de ocupación del suelo en verano. El tratamiento mediante ordenador de una única imagen Landsat TM disminuye el coeficiente de variación de la estimación de superficies de maíz, alfalfa y arroz, así como de las superficies labradas, con vegetación natural o desnudas. En los cultivos minoritarios (girasol, frutales y hortícolas) que están dispersos, y sobre todo en los que presentan una signatura espectral heterogénea, las estimaciones son de peor calidad.

Palabras clave: teledetección, estadísticas agrarias, muestreo areolar, estimador por regresión, estimación de superficies.

SUMMARY

Crop acreages in small irrigated districts by ground-gathered and satellite data.

Remote sensing is an important tool for monitoring and evaluating the agricultural areas, that in the semi-arid part of Spain are dependent upon irrigation. Problems about water scarcity, as well as the environment and marketing are reasons for obtaining fast and accurate crop inventories at each irrigation district. The classical method of area frame sampling corrected by regression estimator has been adapted to the crop acreage in three irrigated districts of the central Ebro basin (N.E. Spain). The method borders its limit of applicability because the small area of each irrigated district, and ground-truth sampling rates higher than usual have been tested. The statistics of the summer land use in these districts are presented. The computer process of one single Landsat TM image diminishes the variation coefficient of the acreages of maize, alfalfa and rice as well as bare, tilled and natural vegetated lands. The acreage was unsound only for minor crops (sunflower, fruit trees and horticultural crops) that are sparsely planted, and in particular for those having heterogeneous spectral signature.

Key words: remote sensing, agricultural statistics, area frame sampling, regression analysis, crop acreage.

¹ Publicado como: Casterad, M.A., Arán, M, Herrero, J y Albizua, L. 1992. Estimación de superficies de cultivos en pequeños regadíos mediante encuesta de terreno y datos de satélite. *Agronomie*, 12:661-668.

INTRODUCCIÓN

El clima árido o semiárido del centro de Aragón impone en seco a la cebada como casi único cultivo, con parvas o nulas cosechas en la mayoría de los años. Unas rentas razonablemente seguras para los agricultores aún existentes han sido posibles mediante los regadíos. Sin embargo, en ciertas áreas de Europa como es el caso del valle del Ebro, la política agraria común va a repercutir no sólo sobre los secanos sino incluso sobre los regadíos, que hace pocos años parecían incuestionables. Ello, junto a la creciente escasez de agua y las afecciones medioambientales por salinidad, demanda un detallado seguimiento y control del regadío.

Un dato básico para la gestión y evaluación de un polígono de riego es el conocimiento de la superficie ocupada por cada cultivo, así como de las áreas desnudas y con vegetación espontánea. Además de su valor estadístico, esta información permitirá estimar el grado de maduración del regadío y, si además está georreferenciada, reconocer y localizar problemas de salinidad o limitantes similares.

Las estadísticas tradicionales en muchos países no cubren estas necesidades. Así, en España tales estadísticas desglosan las superficies de cultivos únicamente por municipios, con lo que pocas veces se puede atribuir sin dudas la superficie de un determinado cultivo a un polígono de riego, ni disponer de agregaciones diferentes de sumas de municipios completos.

La teledetección desde satélites representa un avance en ese sentido, y además da las superficies de los cultivos durante la campaña, cuando los datos son más valiosos. La georreferenciación de toda la información y su periodicidad desde hace casi veinte años, son otros alicientes para poner a punto esta herramienta.

Tras las investigaciones iniciadas en 1938 por la Universidad de Iowa, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) realiza estadísticas desde los años 50 mediante encuestas por marco areolar (Cotter y Nealon, 1987). Posteriormente se empezaron a utilizar datos del satélite Landsat para mejorar mediante estimador por regresión (Cochran, 1977), las estadísticas obtenidas de las encuestas (Hanuschak et al., 1979, 1982). La misma metodología es aplicada por el organismo canadiense de estadística (Germain y Julien, 1988).

En Europa, la Comunidad Económica Europea a través del Instituto para las Aplicaciones de la Teledetección del Centro Común de Investigación en Ispra, ha adaptado

esta metodología y desarrolla, desde 1988, un proyecto piloto de diez años de duración en el que se aplica la teledetección a las estadísticas agrarias (Delincé, 1988, 1989; Gallego, 1990; Meyer-Roux 1990). El plan incluye la obtención de inventarios por regiones y estimaciones rápidas en la CEE mediante la citada metodología.

El método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite es aplicado desde hace años en Francia por el Ministerio de Agricultura (Meyer-Roux, 1981; Meyer-Roux et al., 1983; Touzelet, 1983; Fournier, 1986). También en Italia (C.I.T.A., 1987) y en España se ha aplicado dicha metodología (Trabajos Catastrales, S.A., 1987, 1990; S.E.R.N., 1990; Gonzalez et al., 1991).

La obtención de estimaciones referidas a pequeñas superficies a partir de la información recogida para grandes áreas, por una parte, y de teledetección por otra, se ha desarrollado en los últimos años (Ford et al. 1983; Battese y Fuller, 1981; Battese et al., 1988; Hultine y Harville, 1991). Sin embargo, no cabe esperar que organismos supranacionales se ocupen de la obtención de estadísticas en pequeñas demarcaciones tales como polígonos de riego, áreas siniestradas o a proteger, etc. Estas áreas son a menudo unidades de manejo o de intervención para la administración o para los operadores económicos. La encuesta de marco areolar y estimador de regresión, puede aportar un importante avance gracias a la intervención de los datos del satélite.

Estas consideraciones indujeron al Servicio de Investigación Agraria de Aragón a centrarse en el aforo de superficies de cultivo en pequeños demarcaciones (Casterad, 1990; Gil, 1991; Barbosa, 1992, com. pers.), identificando una serie de problemas estadísticos al ir descendiendo a superficies más y más pequeñas.

El presente trabajo muestra la aplicación del método a tres regadíos aragoneses, con diferentes tasas de muestreo. Se apura en su aplicación, tanto por tratarse de polígonos de riego de dimensiones inferiores a las habituales en trabajos similares, como por haber aforado cultivos cuya distribución y representación están en el límite de la capacidad del método.

ÁREAS ESTUDIADAS

Se presentan resultados de tres áreas en las provincias de Zaragoza y Huesca. Sus altitudes oscilan entre 200 y 400 m. Las tres áreas son semiáridas, con medias anuales que van desde los 316 mm de precipitación y 1197 mm de ET_0 en el área más al centro del valle

del Ebro, hasta los 497 mm de precipitación y 1054 mm de ET_0 en el área más norteña. Los regímenes de humedad de los suelos son el arídico y el xérico. Los cultivos con mayor consumo unitario de riego son el arroz, la alfalfa, y el maíz.

Las tres áreas son representativas de importantes sistemas agrícolas aragoneses. Junto con ello, el disponer de información de suelos, llevó a elegir las para aplicar el método de los segmentos al aforo de superficies de cultivos.

La primera de las áreas es la Huerta Vieja del Ebro en los diez municipios ribereños situados aguas abajo del de Zaragoza. Son 15435 ha de regadío tradicional en la llanura de inundación y terrazas inferiores del Ebro. Predominan el maíz, alfalfa, trigo, cebada, frutales y hortícolas, todos con riego a pie. Los suelos presentan sólo ocasionalmente manchas salinas. El parcelario es irregular al coexistir huertos familiares con parcelas resultantes de la concentración. Las aguas de riego proceden del Canal Imperial y de azudes del Ebro.

La segunda de las áreas estudiadas es el Nuevo Regadío de Quinto, que empezó en 1985 y ocupa 3223 ha que se proyectan ampliar. Esta demarcación comprende algunas parcelas excluidas de riego o no amuebladas en el momento del aforo. Los cultivos principales son: cereal de invierno, maíz, alfalfa, guisantes, frutales y girasol. Son frecuentes los suelos yesosos. Además hay inclusiones de suelos salinos que han exigido obras de drenaje. El riego es por aspersión y por goteo; otros datos acerca de este polígono se pueden encontrar en Herrero y Bercero (1991).

La tercera es el área de Flumen, que comprende 25746 ha entre los ríos Flumen y Alcanadre y el canal del Flumen. Casi toda la demarcación está dominada por el canal del Flumen; sólo algunos enclaves permanecen en secano. Además de los sectores IV al XI de los regadíos del Flumen, incluye huertas viejas que sólo suponen una pequeña extensión frente a los regadíos de entre 20 y 50 años de antigüedad. Los cultivos predominantes son maíz, alfalfa, girasol, arroz, trigo y cebada. El riego es casi exclusivamente a pie y las parcelas suelen ser menores de una hectárea. El tipo de suelos y las considerables extensiones afectadas por salinidad (Herrero, 1987; Herrero y Aragüés, 1988; Rodríguez et al, 1989) son también rasgos destacables de este regadío.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha analizado la imagen de 20 de julio de 1990, correspondiente a la escena 199-031 del Landsat-5. La información del satélite en cintas magnéticas compatibles con

ordenador se trató con un equipo Dipix Aries III.

La referencia cartográfica fueron los mapas a escala 1:50000. La información de campo se recogió, en el caso de la Huerta Vieja del Ebro y del Nuevo Regadío de Quinto, sobre ortofotos escala 1:5000. En Flumen se dispuso de foto aérea de escala 1:12000 y se emplearon sus ampliaciones a aproximadamente 1:8000. Además de la información sobre los cultivos, se reflejaban características del territorio de interés en el posterior proceso de la información digital de los cultivos y los suelos.

El método aplicado fue el de encuesta de terreno por muestreo de marco areolar y estimador por regresión con la clasificación supervisada de la información multispectral del satélite, basado en los desarrollos estadísticos de Cochran (1977). El método comporta una primera etapa de encuesta de terreno en base a unas unidades de muestreo denominadas segmentos, elegidos al azar.

Una primera estimación de la superficie de cada cultivo para cada regadío se obtiene por expansión, multiplicando la superficie media que ocupa el cultivo en cuestión en los segmentos, por el número de segmentos posibles en ese regadío (N). El análisis de los datos permite estimar la varianza del muestreo y por tanto el error típico que se traduce en un coeficiente de variación de la estimación.

A partir de la experiencia en el valle del Ebro (Casterad, 1990; Trabajos Catastrales, S.A., 1990), se han adoptado segmentos de 500 x 500 m. La tasa de muestreo fue del 3.2% (20 segmentos) para la ribera del Ebro. En el nuevo regadío de Quinto fue del 14.7% (19 segmentos) y del 2.5 % (26 segmentos) en Flumen. Los trabajos de campo duraron un mes desde el 18 de julio. La información recogida sirvió para la expansión y para tomar áreas de verdad-terreno en la clasificación.

En una segunda fase, aplicación del estimador por regresión, los datos obtenidos por expansión se corrigen mediante la clasificación supervisada de los datos de satélite. Para ello se procesan las imágenes (comprobación de la calidad de la imagen, corrección geométrica, remuestreo de la información, estratificación del territorio, incorporación de datos de verdad-terreno, creación de firmas espectrales y clasificación), atribuyéndose finalmente un número de píxeles a cada una de las clases de cultivos y usos del territorio. Estos píxeles se expresan en hectáreas (Tablas 1 a 3) para facilitar la comparación. En este estudio se realizó clasificación supervisada por máxima verosimilitud de todas las bandas excepto la seis.

Resultados: Estimación de superficies de cultivos

Tras la clasificación se ajusta, para cada clase temática, la regresión lineal de las superficies de verdad-terreno sobre las obtenidas por clasificación supervisada en los segmentos. Se presentan el coeficiente de determinación (r^2) y el nivel de significación de la regresión. La incorporación de la clasificación multispectral en las clases cuya regresión resulta significativa mejora el dato obtenido por expansión. La teledetección mejora poco la estimación cuando el coeficiente de correlación es pequeño.

Debe establecerse, para cada clase temática, la superficie media por segmento corregida con la clasificación multispectral, \hat{Y} . Este valor, multiplicado por el número de segmentos posibles en todo el territorio, da la superficie por regresión ($\hat{Y}N$). Se utiliza la fórmula (Cochran, 1977):

$$\hat{Y} = \bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})$$

donde \bar{y} es la superficie media de la clase en los segmentos, según los datos de verdad-terreno; b es la pendiente de la recta de regresión de las superficies de verdad-terreno sobre las de clasificación multispectral en los segmentos; \bar{x} es la superficie media de la clase en los segmentos, según los datos de clasificación multispectral; \bar{X} es la superficie media de la clase que correspondería a cada uno de los segmentos posibles en el territorio, según la clasificación multispectral de todo el territorio.

La fórmula afina la estimación obtenida por muestreo al azar (verdad-terreno), corrigiéndola al incorporar la clasificación multispectral en el factor $(\bar{X} - \bar{x})$, ponderada a su vez por el grado de correspondencia entre la superficie obtenida por la clasificación según respuesta espectral de una clase temática y la superficie inventariada. Esta ponderación se incorpora a la fórmula mediante el valor (b) de la pendiente de la regresión de la verdad-terreno sobre la clasificación.

Además de la superficie media, se presentan el coeficiente de variación de la estimación por regresión, indicador de la precisión final alcanzada, y la eficiencia relativa del método, $ER=(1-r^2)^{-1}$, que indica cuántas veces habría que aumentar la tasa de muestreo para lograr la misma varianza que si se utilizase sólo la expansión (Meyer-Roux, 1981).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la visualización de las imágenes se utilizaron las bandas 4-5-3 (RGB). En ellas se identifican los cultivos por su tonalidad y se localizan sus marras. Destacan en rojo las parcelas con vegetación de regadío (alta reflectividad en el infrarrojo próximo), frente a los tonos apagados del secano. Además, esas parcelas muestran tonalidades según las diferentes especies: maíz (rojo), alfalfa (rojo muy vivo) y matices correspondientes a estados fenológicos. La vegetación de ribera aparece rojo-marrón.

El tamaño y forma de las parcelas es otro aspecto diferenciador: mosaico de pequeñas parcelas con diversidad de usos en la Huerta Vieja, grandes y de formas más monótonas en el Nuevo Regadío. Las irregularidades intraparceldares en la imagen, son muy marcadas en ciertas parcelas del Nuevo Regadío. Estos rodales se asocian generalmente a marras del cultivo de origen diverso (encharcamiento, salinidad, suelo somero, mala nascencia, etc.). En la imagen de Flumen, además del mosaico complejo del parcelario, destaca la variedad de tonos dentro de una misma clase debida a la salinidad que afecta a amplias extensiones.

Se han obtenido las respuestas espectrales de los usos siguientes: agua, áreas urbanas, alfalfa, arroz, barbecho, cebolla, frutales, girasol, maíz, rastrojera, terreno arado, vegetación espontánea, vegetación de ribera. Las superficies de cereal de invierno tanto en secano como en regadío, así como las áreas de barbecho, requerirían una imagen de primavera con trabajo de campo en fechas coincidentes.

Las Tablas 1, 2 y 3 presentan sólomente los aforos de las superficies de los cultivos más extendidos, ya que el método utilizado no es aplicable a usos de escasa superficie. Es el caso de los frutales, cuya escasez y diversidad en el manejo de las plantaciones impiden una buena selección de áreas de entrenamiento del clasificador.

Tampoco se presentan en las Tablas los resultados del girasol, cuya pequeña superficie y poca representación en el regadío lo deja fuera del límite de aplicabilidad del método. Por expansión se obtienen 148.4 ha con C.V. de 43.0% en el Nuevo Regadío, y 1513.8 ha con C.V. de 39.2% en Flumen. Al aplicar la regresión de verdad-terreno sobre la clasificación, estos resultados no mejoran. Se obtienen valores de r^2 de 0.14 en el Nuevo Regadío y de 0.10 en Flumen que no son significativos al 95%. Ello se asocia a la heterogeneidad de la firma espectral en esta fecha puesto que hay parcelas en flor, otras en desarrollo y otras en plántula, a causa de las distintas variedades y del escalonamiento de

Resultados: Estimación de superficies de cultivos

siembras.

Tabla 1.- Estimación de las superficies ocupadas por los principales usos y cultivos en las 15435 ha de la Huerta Vieja de diez municipios ribereños del Ebro (Zaragoza). Julio 1990.

Clases	Superficie (ha) por:			% respecto al total del regadío	C.V. (%)		r ²	Eficiencia relativa
	Expansión	Clasificación	Regresión		Expansión	Regresión		
Maíz	3413	2225	2629	17.0	15.9	11.4	0.70**	3.3
Alfalfa	3054	2408	2628	17.0	14.4	10.6	0.60**	2.5
Rastrojera	1160	1846	1382	9.0	28.5	16.6	0.52**	2.1
Terreno Arado	2047	747	1633	10.6	29.0	21.7	0.64**	2.8
Rast.+ T. Arado + Barbecho	4070	3830	3825	24.8	16.8	8.3	0.78**	4.6

Tabla 2.- Estimación de las superficies ocupadas por los principales usos y cultivos en las 3223 ha del Nuevo Regadío de Quinto (Zaragoza). Julio 1990.

Clases	Superficie (ha) por:			% respecto al total del regadío	C.V. (%)		r ²	Eficiencia relativa
	Expansión	Clasificación	Regresión		Expansión	Regresión		
Maíz	328	135	223	6.9	40.0	21.2	0.87**	7.8
Alfalfa	579	283	382	11.9	24.3	10.1	0.93**	13.4
Rastrojera	1120	1328	1450	45.0	14.9	7.1	0.51**	2.6
Terreno Arado	283	249	268	8.3	47.8	28.6	0.68**	3.1
Rast.+T.Arado+ Barbecho+Veg. Espontánea	1651	1896	1850	57.4	11.2	3.6	0.87**	7.5

Tabla 3.- Estimación de las superficies ocupadas por los principales usos y cultivos en la 25746 ha del regadío de Flumen (Huesca). Julio de 1990.

Clases	Superficie (ha) por:			% respecto al total del regadío	C.V. (%)		r ²	Eficiencia relativa
	Expansión	Clasificación	Regresión		Expansión	Regresión		
Maíz	2235	1569	1812	7.0	34.5	21.3	0.75**	4.0
Alfalfa	2101	1420	1885	7.0	31.7	15.0	0.82**	5.5
Arroz	4556	2042	2914	11.3	30.8	13.7	0.92**	12.5
Rastrojera	6838	5442	6385	24.8	17.8	8.1	0.82**	5.5
Terreno Arado	1843	2697	1720	6.7	29.8	28.9	0.18**	1.2

Estimación de superficies de cultivo en pequeños regadíos

Los cultivos presentados más el terreno arado, que corresponde aproximadamente a la superficie de cereal de invierno, suponen el 53.6% de la Huerta Vieja, el 72.1% del Nuevo Regadío y el 57.1% de Flumen. Estas superficies no comprenden los cultivos no aforables ni otras clases no agrícolas. Tales usos del territorio están más representados en Huerta Vieja y Flumen, que se delimitan en tanto que áreas dominadas por un canal y cuya ocupación es intensa y antigua. Ocurre lo contrario en el Nuevo Regadío, que es un área desértica de reciente equipamiento por aspersión.

Las Tablas 1, 2 y 3 muestran que la teledetección, mediante la aplicación del estimador por regresión, consigue en general mejorar la precisión de la estimación. Ello supone que para los cultivos, el aforo más fiable es la superficie obtenida por regresión acompañada de su coeficiente de variación. Una excepción es el arroz, por los motivos que se discuten más adelante.

Las Tablas muestran menores coeficientes de variación para aquellos cultivos que suponen un porcentaje mayor en el regadío correspondiente. Los coeficientes de variación son elevados en las clases cuya cobertura laxa (terreno arado), o cuyo escalonamiento en la siembra (maíz del Flumen) origina una respuesta espectral heterogénea. En términos generales, la heterogeneidad espectral de cada clase se refleja en los valores del coeficiente de correlación.

Maíz

En el Nuevo Regadío de Quinto existe alta relación entre la verdad-terreno y la respuesta espectral. Los grandes tamaños de sus parcelas, necesarios para el riego mecanizado, explican que aparezcan sólo 3 ó 4 clases en unos pocos segmentos en los que se concentra la representación de la clase maíz. Ello, junto con la poca superficie del mismo (6.9%) en el nuevo regadío hace que los coeficientes de variación sean mucho mayores que en la Huerta Vieja.

En Flumen la mejora obtenida en el coeficiente de variación al aplicar el estimador de regresión, es más modesta. Ello se debe a que el maíz sólo supone el 7.0% de la superficie de este regadío y a las diferentes respuestas espectrales consecuencia del escalonamiento de siembras. Si se desearan mejorar estos coeficientes se podría utilizar una imagen más tardía.

Alfalfa

Es aplicable lo indicado para la clase maíz en cuanto a superficies y distribución. Los coeficientes de determinación pueden considerarse satisfactorios, si bien el de la Huerta Vieja (Tabla 1) es sensiblemente menor. Esto se interpreta por la coexistencia de parcelas de alfalfa en pleno desarrollo con otras recién cortadas, que aparecían en mayor proporción en la Huerta Vieja.

Arroz

Aumenta considerablemente la precisión al aplicar el método del estimador por regresión. Las fuertes discrepancias entre el dato por regresión y el de expansión directa se deben a que las parcelas de arroz no están dispersas en el territorio, sino casi exclusivamente formando cotos arroceros en enclaves salino-sódicos. El aumento de precisión se debe a la especificidad de la firma espectral del arroz, único cultivo con inundación en estos regadíos. Esto lleva a considerar como dato más fiable el obtenido por clasificación.

Rastrojera

Esta clase corresponde a cereales de invierno en regadío ya cosechados en el momento del trabajo de campo, y a parcelas aún no labradas. En Flumen la firma espectral de esta cubierta proporciona un alto coeficiente de determinación. Ello, unido a la gran importancia relativa de este uso, explica el bajo coeficiente de variación.

En el Nuevo Regadío, esta clase pese a su bajo r^2 presenta un coeficiente de variación mucho menor que el de las otras clases. Ello se atribuye al elevado porcentaje que representa en este regadío. En la Huerta Vieja, el porcentaje de la clase es mucho menor. Así se explica que con un valor de r^2 similar al del Nuevo Regadío, la estimación sea peor.

Terreno Arado

En Flumen no se producen mejoras apreciables de los resultados con el empleo del proceso de imagen. La razón principal es la gran irregularidad de las respuestas espectrales de este uso, que incluye: laboreos sobre distintos tipos de suelos, tierras de labor abandonadas y áreas salinas desnudas o con vegetación halófila. Es difícil establecer la relación existente entre el concepto "terreno arado" definido en campo y su respuesta espectral.

Esto se refleja en un bajo coeficiente de determinación que no alcanza el nivel de

significación exigido. Se considera más fiable la estimación por expansión.

La heterogeneidad de respuestas denota la existencia de mucha información dentro de la clase espectral. El análisis de esta información incorporando datos de la cartografía de suelos, en especial de la salinidad, para crear nuevas clases temáticas será abordado en próximos trabajos.

En el Nuevo Regadío y la Huerta Vieja la variabilidad de la respuesta no es tan acusada, lo que se relaciona con la menor extensión y la distribución en pequeños rodales de los suelos afectados por salinidad.

Sin cultivo

Se aprecia una mejoría sustancial al ir fusionando las clases sin cultivo y con cubierta vegetal escasa o nula en el momento de paso del satélite. La superficie total aumenta y la diferente respuesta espectral de esta nueva clase frente a la de los cultivos hace que se consiga una buena clasificación. Los coeficientes de variación y la eficiencia aumentan.

CONCLUSIONES

Un método de inventario de cultivos, ya clásico para grandes superficies, se ha verificado en la estadística de tres pequeños regadíos. Se confirma así la validez de esta herramienta para la gestión de polígonos de riego.

El método de los segmentos ha permitido, mediante una única imagen Landsat, aforar las superficies de maíz, alfalfa y arroz en tres regadíos de características y tamaños (257, 154 y 32 km²). Para estos cultivos, que suponen el mayor consumo de agua, las cifras de aforo de superficies se acompañan de los coeficientes de variación, pudiéndose obtener los demás estadísticos.

En los dos regadíos mayores, utilizando tasas de muestreo del 2.5% y 3.2%, el estimador por regresión consigue disminuir sensiblemente los coeficientes de variación respecto a los obtenidos en la expansión directa.

Cultivos como girasol, frutales y hortalizas, dispersos y poco representados en estos regadíos y con firmas espectrales irregulares, no son aforables con este método.

Los valores de la eficiencia relativa (E.R.) indican, para todos los cultivos y usos, que la superficie a muestrear para conseguir un determinado coeficiente de variación

disminuye al aplicar la clasificación multispectral. Desde el punto de vista de los costos de las operaciones estadísticas, los servicios correspondientes deberán valorar no sólo la mejora de la precisión y rapidez, sino también las posibilidades de localización cartográfica de los cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Battese G. E., Fuller W. A. 1981. Prediction of county crop areas using survey and satellite data. Proceedings of the Section on Survey Research Methods. American Statistical Association. Washington, D.C. pp 500-505
- Battese G. E., Harter R. M., Fuller W. A. 1988. An error components model for prediction of county crop areas using survey and satellite data. Journal of American Statistical Association 83: 28-36.
- Casterad M. A. 1990. Utilización de datos de satélite para el aforo de superficies de cultivos en el centro del valle del Ebro. Trabajo de investigación. UPC-E.T.S.I.Agrónomos. Lérida. 130pp.
- C.I.T.A. 1987. Remote sensing in agriculture. Crop acreage estimate and crop production forecast "from feasibility to implementation". Consorzio Italiano per il Telerilevamento in Agricoltura. Ministerio de Agricultura y Bosques de Italia. 100 pp.
- Cochran W. G. 1977. Sampling techniques, 3rd edition. Wiley & Sons, N.Y. 428 pp.
- Cotter J., Nealon J. 1987. Area frame design for agricultural surveys. National Agricultural Statistics Service. U.S. Department of Agriculture. Washington D.C. 67 pp.
- Delincé J. 1988. The test site networks of the agriculturae project. Proceedings of the 8TH EARSel Symposium. Alpine and mediterranean areas: A challenge for remote sensing. Capri (Napoles), Italy. 17-20 May. EUR 11851 EN: 14-20 pp.
- Ford B., Bond D., Carter N. 1983. Research into small area estimation at the U.S. Department of Agriculture. Proceeding of the Section on Survey Research Methods. American Statistical Association. 232-236 pp.
- Gallego J. 1990. El proyecto de teledetección aplicada a las estadísticas agrarias de la CEE: estimación de superficies y rendimientos de cultivos anuales. Seminario sobre teledetección aplicada a la agricultura. Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos. Madrid. 19 pp.
- Germain M. F., Julien C. 1988. L'application de la télédétection à l'estimation de superficies agricoles. The Canadian Journal of Statistics 16(supplement): 9-23.
- Gil C. 1991. Aforo de superficies de cultivos en la zona del Flumen (Huesca) mediante teledetección multispectral. Trabajo fin de carrera, Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia (Zaragoza). 77 pp.
- González F., López S., Cuevas J. M. 1991. Comparing two methodologies for crop area estimation in Spain using Landsat TM images and ground-gathered data. Remote Sensing of Environment 35: 29-35.
- Hanuschak G., Sigman R., Craig M., Ozga M., Luebbe R., Cook P., Kleweno D., Miller C. 1979. Obtaining timely crop area estimates using ground-gathered and Landsat data. USDA, Economic, Statistics and Cooperative Service. Techn. Bull 1609. 29 pp.

- Hanuschak G., Allen R., Wington W. 1982. Integration of Landsat data into the crops estimation program of USDA's Statistical Reporting Service. Machine Processing of Remotely Sensed Data Processing. Purdue University, West Lafayette IN. 12 pp.
- Herrero J. 1987. Tendencias de salinidad en suelos del sistema de riegos Monegros-Flumen. 7ª Conferencia sobre Hidrología General y Aplicada, SMAGUA: 411-427. Zaragoza.
- Herrero J., Aragüés R., 1988. Suelos afectados por salinidad en Aragón. Surcos de Aragón 9: 5-10.
- Herrero J., Bercero A. 1991. La salinidad en el nuevo regadío de Quinto (Zaragoza). Suelo y Planta 1: 585-602.
- Hultine F.L., Harville D.A. 1991. Some bayesian and non bayesian procedures for the analysis of comparative experiments and for small-area estimation: Computational aspects, frequentist properties and relationships. Journal of the American Statistical Association. 86 (415): 557-568.
- I. A. T. 1989. Monitoring Agriculture with Remote Sensing Techniques. Flash Tele-Agri-News. CEE, Institut des Applications de la Télédétection. Joint Research Center, Ispra. Spec. Publi. N° I.89.34., 2: 20 pp.
- Meyer-Roux J. 1981. Cartographie et statistique en télédétection. Cahiers de Statistique Agricole. SCEES 6/6: 9-14.
- Meyer-Roux J. 1990. Remote sensing and statistical systems, area sampling, stratification regression estimates, results, comparison of the different techniques. In Euro-Courses: Application of remote sensing to agricultural statistics crop inventories and area frame sampling. Commission of European Communities. Joint Research Centre. Ispra-Italy. RSA/90/2. 17 pp.
- Meyer-Roux J., Fournier Ph., Touzelet M. 1983. The remote sensing program of the French Agricultural Statistical Service. Presented at the Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor. 12 pp.
- Rodríguez R., Herrero J., Porta J. 1989. Suelos de regadío con drenaje enterrado. XVI Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Lérida. 93pp.
- Fournier, P. 1986. Enquête sur l'utilisation du territoire effectuée en 1985 par la méthode des segments dans la Région Ile de France et dans deux départements de la Région Centre. Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques. Ministère de l'agriculture, France. 13, 63 pp.
- S.E.R.N. 1990. El uso de las imágenes de satélite en el análisis de la distribución espacial de cultivos. Aplicación metodológica en el Bajo Guadalquivir. Servicio de Evaluación de Recursos Naturales-Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 131pp.
- Trabajos Catastrales, S.A. 1987. Estudio de las aplicaciones de los satélites de recursos naturales en Navarra en la campaña 87 (Peralta). Trabajos Catastrales S.A. Pamplona, 122p.
- Trabajos Catastrales S.A. 1990. Informe Estadística Agraria 1990. Comarcas Agrarias VI y VII. Método marco de áreas y estimación por regresión. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes del Gobierno de Navarra. Trabajos Catastrales, S.A., Departamento de Teledetección, Pamplona, 80 pp.+ anejos.
- Touzelet M. 1983. Enquête sur l'utilisation du sol par la méthode des segments, Ardèche 1982. SCEES. Cahiers de Statistique Agricole, 2/6: 9-16.

**Capítulo IV.- Resultados: Estimación de volúmenes de
agua aplicados por polígono de riego**

IV.1.- COMBINACIÓN DE DATOS DE TERRENO, DE SATÉLITE Y METEOROLÓGICOS PARA ESTIMAR EL AGUA DE RIEGO ANUAL POR DISTRITO¹

RESUMEN

Los datos agrometeorológicos permiten estimar las necesidades de agua de los cultivos. Estas, combinadas con la superficie ocupada por cada cultivo en un polígono de riego en un determinado año, pueden dar estimaciones del volumen de agua de riego a aplicar en ese año en el regadío. En este trabajo se presentan estimaciones de volúmenes de agua correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos para dos años del polígono de Flumen (Huesca), utilizando datos meteorológicos de un año medio. Se obtiene un razonable acuerdo con los volúmenes facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro a los regantes. Se discuten mejoras posibles del modus operandi en las estimaciones y se propone continuarlas en el futuro para poder establecer eficiencias u otros parámetros del manejo del sistema de riego.

Palabras clave: agua de riego, superficie de cultivos, teledetección, agrometeorología

SUMMARY

Ground, satellite and meteorological data combination on anual water requirements estimates

Control and measurement of irrigation water is an urgent task in arid and semiarid areas, like the central Ebro valley (Northeastern Spain). This article presents two years of estimations of the volume of water corresponding to the net crop water requirements for an irrigation district in the Ebro valley. Net crop water requirements are estimated using agrometeorological data of an average year. These requirements are coupled to the hectarage of each major crop within the irrigation district in each year to estimate the water volume of net crop water requirements. The hectarages are obtained using satellite and ground data. The estimated volumes reasonably agree with the volumes invoiced by the Water Basin Authority to the farmers. Several possible improvements to the method are discussed. Further application of the method can help to establish efficiencies or other management parameters in the irrigation district.

Key words: water irrigation, crop surface, remote sensing, agrometeorology

¹ Comunicación presentada en el XIV Congreso Nacional de Riegos. Casterad M^a A., Herrero, J. y Martínez-Cob, A. 1996. Combinación de datos de terreno, de satélite y meteorológicos para estimar el agua de riego anual por distrito. 37/96 Congresos y Jornadas. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. 518-525.

INTRODUCCIÓN

La rampante disputa por el agua exige conocer su utilización, sobre todo en regiones áridas, como el centro del valle del Ebro. Aquí el riego representa el 88 % de los usos consuntivos del agua (M.O.P.U., 1990), y aún están por completar planes de riego aprobados a principios de este siglo. El conocimiento detallado y objetivo del destino del agua, desglosado por polígonos de riego y por cultivos, permitiría conocer la eficiencia de cada sistema y detectar posibles anomalías o desviaciones del uso del agua. Ello requiere conocer la superficie ocupada por cada cultivo presente en el regadío, y el agua de riego que necesita.

La conjunción de técnicas de muestreo clásicas y datos de satélite (Mergerson, et al., 1982; M.A.P.A, 1992; Joint Research Center, 1995) produce estadísticas de superficies de cultivos más objetivas que la información indirecta o las estimaciones de expertos, que aún hoy son la base de algunas “estadísticas” oficiales. Además las estadísticas oficiales no dan cifras para demarcaciones, como son los polígonos de riego, no coincidentes con municipios o sus agregaciones. La Unidad de Suelos y Riegos del Servicio de Investigación Agroalimentaria (S.I.A.) de Aragón ha puesto a punto esa nueva metodología para aforar superficies de cultivos en regadío (Casterad et al., 1992). Además la Unidad dispone de experiencia en distintas metodologías de estimación de la evapotranspiración y las necesidades de agua de los cultivos en la cuenca del Ebro a partir de datos meteorológicos (Faci, 1992; Faci et al., 1994; Martínez-Cob et al., 1997).

En este trabajo se combinan datos meteorológicos, para la estimación de necesidades de agua de los cultivos en el regadío de Flumen (Huesca), con estimaciones de sus superficies obtenidas a partir de datos de terreno y satélite. Finalmente se calculan, para dos años, los volúmenes de agua correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos en ese regadío y se comparan con las cifras de agua facturadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El distrito de estudio es el regadío de Flumen (Huesca), con una extensión de 327 km², una vez descontadas las masas de agua y los núcleos urbanos. La media de precipitación anual es de 525 mm, la temperatura media anual es de 14.3°C, y la media de ET₀ anual es de 1304 mm en el observatorio de Grañén Monte Sodeto (Faci y Martínez-Cob, 1991). Hay un acentuado déficit hídrico en los meses estivales.

Este regadío, de entre 20 y 50 años de antigüedad, incluye en su perímetro huertas viejas regadas desde tiempo inmemorial (Bolea, 1986) y algunos enclaves de secano. Predominan las parcelas rectangulares y alargadas menores de una hectárea. El sistema de riego más utilizado es el de superficie, si bien pueden encontrarse algunas parcelas con aspersión. Muchos de los suelos están afectados por salinidad (Herrero y Aragüés, 1988). El agua de riego procede del canal del Flumen, excepto en las huertas viejas que se abastecen de azudes de los ríos Flumen y Alcanadre.

La estimación del volumen correspondiente a las necesidades hídricas netas de los cultivos (V_{nht}), realizada para 1993 y para 1994, constó de tres fases: i) aforo de las superficies de los principales cultivos mediante el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite (Casterad et al., 1992; Barbosa et al., 1993); ii) cálculo de las necesidades hídricas netas de los cultivos (Doorenbos y Pruitt, 1977); y iii) multiplicación de la superficie de cada cultivo por sus necesidades hídricas netas.

Para el aforo de superficies se inventariaron cada año 44 unidades de muestreo o segmentos de 500 m × 500 m, elegidos al azar. Se repitió un patrón aleatorio de tres segmentos por bloque, en bloques de 5 km × 5 km, resultando una tasa de muestreo del 3.4%. El inventario de campo se hizo en dos etapas. La primera fue en primavera, del 4 al 18 de mayo en 1993 y del 31 de mayo al 9 de junio en 1994, para inventariar las parcelas-uso de los cultivos que se desarrollan durante invierno y las de los cultivos de verano recién emergidos. En la segunda, del 14 al 24 de junio en 1993 y del 11 al 15 de julio en 1994, se controlaron posibles segundas cosechas y se verificó si había algún cambio en las parcelas anteriormente sin cultivo. De ser necesarias predicciones tempranas, estas operaciones podrían realizarse tan pronto como los cultivos hayan emergido o se conozcan las siembras.

La digitización de la información obtenida permitió conocer la superficie de cada parcela-uso y realizar una primera estimación mediante expansión directa de la superficie ocupada por cada cultivo en el regadío. Para ello, se multiplicó la superficie media de cada cultivo en los segmentos por el número de segmentos posibles en toda el área de estudio.

Estas estimaciones se mejoraron a partir de la clasificación multitemporal supervisada de imágenes del satélite Landsat 5 TM, realizada tras la corrección radiométrica y geométrica de las imágenes. Las áreas de entrenamiento se tomaron a partir de la verdad-terreno inventariada y digitizada. La experiencia de trabajos anteriores aconsejó utilizar al menos dos imágenes de satélite, una de primavera para detectar los cultivos de invierno y otra de verano para los cultivos de esta época. La nubosidad, junto con algunos problemas en la recepción de las imágenes de verano, obligó en 1993 a escoger una imagen del 6 de marzo y otra del 12 de julio. En 1994 las imágenes utilizadas fueron del 28 de mayo y del 29 de junio, ya que las imágenes posteriores tenían nubes en el área de estudio.

La aplicación de un estimador de regresión lineal (Cochran, 1977) que combina los datos de campo con los de la clasificación de las imágenes, proporcionó una nueva estimación mejorada de las superficies. Además, tanto en este caso como en el de la expansión, se obtuvieron los coeficientes de variación de las superficies estimadas y, para aquellos cultivos normalmente distribuidos en la muestra, los intervalos de confianza.

Las necesidades hídricas netas de los cultivos para un año medio se calcularon de acuerdo con la metodología propuesta por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977). En una primera etapa se calculó la evapotranspiración de los cultivos (ET_c), que representa las necesidades hídricas brutas de los cultivos para su desarrollo óptimo. Para este cálculo se determinaron la evapotranspiración de referencia (ET_o) y los coeficientes de cultivo (K_c)

El método seguido para el cálculo de la ET_o fue el de FAO Blaney-Criddle (Doorenbos y Pruitt, 1977). Según Faci et al. (1994), la ET_o calculada por este método presenta una buena correlación con la ET_o medida en el lisímetro del S.I.A., si bien se observó que el método conducía a una sobreestimación de la ET_o de un 14%. A falta de lisímetros en el área de estudio, se supuso la misma sobreestimación, y se aplicó un coeficiente corrector de 0.88 a la ET_o calculada. Los K_c se calcularon a partir de valores

tabulados por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977) y de información sobre ciclos de cultivos obtenida mediante encuestas a agentes de extensión agraria de la zona (Martínez-Cob et al., 1997).

En una segunda etapa, se calcularon las necesidades hídricas netas de los cultivos (NH_n) descontando la precipitación efectiva (PE), es decir la fracción de precipitación que contribuye a satisfacer la ET_c . Las NH_n representan la cantidad de agua que ha de suministrarse a la zona radicular del cultivo mediante el riego. La PE se calculó mediante el método propuesto por el Soil Conservation Service de los EE.UU. (Cuenca, 1989).

La metodología FAO no es adecuada para el arroz, que se cultiva bajo inundación con agua corriente. Por ello se han tomado como necesidades de riego las cifras establecidas por Tolosa (1990).

Con los datos obtenidos se han estimado los volúmenes de agua correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivo mediante la fórmula:

$$V_{nhn} = S \times NH_n \times 10^{-6}$$

donde para cada cultivo V_{nhn} es el volumen correspondiente a las necesidades hídricas netas del cultivo (hm^3); S es la superficie (ha) estimada; y NH_n son las necesidades hídricas del cultivo ($m^3 ha^{-1}$).

Si se desease calcular las necesidades de agua de riego, las NH_n deberían incrementarse en función de la eficiencia del sistema de riego, que incluiría las necesidades de lavado. La cuestión de las eficiencias y la interpretación de estas estimaciones se discuten más abajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta la estimación de los V_{nhn} de los principales cultivos del polígono. También incluye las necesidades hídricas netas medias y los aforos de superficie de cada cultivo, datos utilizados en el cálculo de los volúmenes. Además de los cultivos

indicados se estimaron también los pinares y las superficies sin cultivo, aunque no se incluyen por carecer de interés en la estimación del agua de riego.

El empleo de las superficies obtenidas por expansión permitiría estimar los volúmenes nada más concluir la campaña de campo y además contabilizar el consumo de agua de riego de los cultivos no clasificados y por tanto no aforados mediante el estimador por regresión. Ahora bien, las superficies estimadas por regresión son más precisas que las de expansión, y en Flumen representan entre el 89 y 95% de la superficie total. Se justifica así su empleo para el cálculo de V_{nhn} .

La confusión espectral entre la alfalfa y las pratenses forrajeras no permitió clasificar a estos cultivos por separado, siendo necesario reagruparlos en una clase denominada alfalfa+forrajera. Esto no dificulta el cálculo de V_{nhn} , pues ambos cultivos tienen similares necesidades hídricas.

Algo parecido ocurre con la cebada y el trigo, pero en este caso la fusión de ambas respuestas espectrales en una respuesta única clasificó peor que si se usaban ambas respuestas por separado y se sumaban las superficies así obtenidas. Como el ciclo de ambos cultivos no es del todo coincidente y sus necesidades hídricas diferentes, se optó por establecer la clase cereal de invierno que engloba cebada y trigo. Utilizando el estimador por regresión, la superficie de cereal de invierno es más precisa (coeficiente de variación de 5.6 en 1993 y 6.7 en 1994) que la de cebada y la de trigo (coeficientes de variación de 8.4 y 18.3 respectivamente en 1993 y de 14.4 y 9.1 en 1994). Por ello se ha utilizado la superficie de cereal de invierno para estimar el V_{nhn} total, si bien se presentan también las estimaciones obtenidas para cebada y trigo por separado (Tabla 1).

El V_{nhn} para el cereal de invierno se ha calculado a partir de las necesidades hídricas de la cebada y el trigo. Para ello, la superficie de cereal de invierno se ha repartido proporcionalmente a la superficie de cebada y trigo, aplicando las correspondientes necesidades hídricas a las cifras resultantes.

Para evaluar las estimaciones ha de tenerse en cuenta que el perímetro de riego incluye enclaves de secano no representados en los planos disponibles, y no delimitables con

Estimación de agua de riego anual por distrito

fiabilidad a partir de las imágenes de satélite adquiridas. El resultado es una sobreestimación del volumen de agua que afecta sobre todo a la cebada, como cultivo predominante en estos enclaves.

Tabla 1.- Necesidades hídricas, superficie y porcentaje de esta respecto al total del área de estudio, de los principales cultivos en 32729 ha del regadío de Flumen (Huesca), y volúmenes estimados correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos (V_{nhn}).

Cultivos	Necesidades ($m^3 ha^{-1}$)	Año 1993			Año 1994		
		Superficie (ha)	%	Volumen (hm^3)	Superficie (ha)	%	Volumen (hm^3)
Arroz	15000	2592	7.9	38.9	3275	10.0	49.1
Alfalfa+forrajera	6740	7005	21.4	47.2	6554	20.0	44.2
Cereal invierno		6706	20.5	15.5	6959	21.3	16.8
Cebada	2210	5050	15.4	11.2	3391	10.4	7.5
Trigo	2610	1749	5.3	4.6	3495	10.7	9.1
Girasol	5040	4672	14.3	23.6	2539	7.8	12.8
Maíz	5710	549	1.7	3.1	2537	7.8	14.5
Total		21524	65.8	128.3	21864	66.8	137.4

Otro aspecto a considerar es el incremento de las siembras de girasol respondiendo a la subvención de la Unión Europea. En 1993 parte del girasol se sembró únicamente para la subvención, sin intención de cosecharlo. Es de suponer que este girasol no se regó, y por ello el volumen de riego estará sobreestimado. Este efecto debió ser menor en 1994 porque la Unión Europea exigió ciertos requisitos para obtener la subvención y se controló más este cultivo. Así, la apreciación visual de los encuestadores y la interpretación de la imagen de satélite llevó, ya en 1993, a considerar que la mitad del girasol sembrado no se regó. Esta suposición parece acertada al comparar la superficie de girasol en 1993 con la de 1994 (Tabla 1).

Además, para comparar los volúmenes estimados con los suministrados desde el Canal del Flumen según la facturación de agua a los regantes por la C.H.E., debe descontarse el agua de riego aplicada en las huertas viejas. Las huertas viejas del Flumen y Alcanadre, aunque se abastecen de azudes sobre dichos ríos, están incluidas en el polígono de riego del Flumen de cuyo Canal toman agua ocasionalmente, sin que se hayan podido obtener cifras de facturación en ningún año. Estas huertas están bien delimitadas en los planos disponibles, sin embargo su poca extensión y su forma alargada hacen que el

Resultados: Estimación de volúmenes de agua aplicados por distrito

muestreo efectuado no permita obtener superficies de cultivo en la huerta vieja por el método descrito. Sin embargo, como la clasificación de las imágenes de satélite fue de exactitud aceptable, se han utilizado las superficies de los cultivos así obtenidas para estimar el volumen (Tabla 2).

La Tabla 3 recoge los volúmenes de agua facturados por la C.H.E. frente a los estimados una vez descontados los de las huertas viejas y, para 1993, los 11.8 hm³ del girasol no productivo. Es de esperar una ligera modificación de los volúmenes cuando se disponga de cartografía de los enclaves de secano. No obstante, la relación (C.H.E./S.I.A.) entre ambos volúmenes indica una facturación de la C.H.E. alrededor de un 25% superior al volumen aquí estimado.

Tabla 2.- Superficies de los principales cultivos presentes en las 3307 ha de la huerta vieja del regadío de Flumen (Huesca) obtenidas por clasificación de imágenes de satélite, porcentaje respecto al total de huerta vieja, y volúmenes de agua estimados correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos (V_{nhm}).

Cultivos	Año 1993			Año 1994		
	Superficie (ha)	%	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)	%	Volumen (hm ³)
Arroz	252	7.6	3.8	112	3.4	1.7
Alfalfa+forrajera	799	24.2	5.4	994	30.1	6.7
Cereal invierno	539	16.3	1.2	526	15.9	1.4
Cebada	432	13.1	1.0	40	1.2	0.1
Trigo	107	3.2	0.3	487	14.7	1.3
Girasol	486	14.7	2.5	192	5.8	1.0
Maíz	34	1.0	0.2	263	8.0	1.5
Total	2110	63.8	13.0	2087	63.1	12.2

Tabla 3.- Volúmenes de agua de riego facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío del Flumen (Huesca), frente a los volúmenes estimados por el Servicio de Investigación Agroalimentaria correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos.

C.H.E. (hm ³)	Año 1993		C.H.E. (hm ³)	Año 1994	
	S.I.A. (hm ³)	C.H.E./S.I.A.		S.I.A. (hm ³)	C.H.E./S.I.A.
127.6	103.5	1.23	158.6	125.2	1.27

La C.H.E. factura sobre sus aforos en las tajaderas de salida del canal del Flumen los volúmenes pedidos por los regantes. En un regadío de esta antigüedad, cabe suponer que un

regante experto incluye empíricamente en los volúmenes pedidos, además de las eficiencias, un margen por exceso para asegurarse el poder completar cada uno de sus riegos. Este exceso sería agua en su mayor parte no evaporada y de cuantía muy sensible a las tarifas. Con este enfoque, las diferencias entre nuestras cifras y las de la C.H.E. pueden achacarse, además de a las anteriores consideraciones, a la necesidad de refinar nuestros cálculos, por ejemplo mediante datos lisimétricos locales.

Otro enfoque sería considerar que no hay peticiones por exceso y que las diferencias entre nuestras estimaciones y las cifras de la C.H.E., cuya fiabilidad hemos de admitir, se deben a la eficiencia. El coeficiente C.H.E./S.I.A. de la Tabla 3, reflejaría que la eficiencia de las conducciones secundarias y de aplicación en parcela son superiores en conjunto al 80%. Como los expertos locales en riego preconizan eficiencias promedio inferiores al 70%, este enfoque indicaría que nuestras estimaciones son altas frente a las facturaciones de la C.H.E.

Debe señalarse que los cálculos se han hecho con datos meteorológicos de un año medio. El hacerlos con datos del año en curso no tendría utilidad predictiva, si bien podría mejorar los resultados. En cualquier caso, si la estabilidad del cociente C.H.E./S.I.A. resulta aceptable, o si la aproximación se juzga suficiente, el método puede aplicarse y calibrarse en otros regadíos que dispongan de aforos del agua suministrada. Ello permitirá estudiar la validez del método para conocer el agua aplicada en regadíos carentes de aforos de agua, por tomarla mediante azudes tradicionales, o por no aportar las entidades gestoras o los particulares los datos de bombeo de pozos o de detracciones de cursos superficiales.

CONCLUSIÓN

Los volúmenes de agua de riego facturados en el regadío del Flumen para 1993 y 1994 han resultado aproximadamente un 25% superiores a los correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos, volúmenes estimados por el método descrito usando datos de un año meteorológico medio. Aunque el método admite aún ciertos refinamientos, se propone el calibrarlo sobre otros regadíos y, en los que no dispongan de aforos del agua aplicada, utilizarlo para estimarla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa P.M., Casterad M.A., Herrero J., Solé L. 1993. Tratamiento de dos imágenes Landsat-5 TM de un regadío para la estadística de superficies de cultivos. XI Jornadas Técnicas sobre Riegos. Valladolid, 2-4 de junio. pp. 254-261.
- Bolea J.A. 1986. Los riegos de Aragón. 2ª edición. Grupo Parlamentario Aragonés Regionalista de las Cortes de Aragón. 579 pp.
- Casterad M.A., Arán M., Herrero J., Albizua L. 1992. Estimación de superficies de cultivos en pequeños regadíos mediante encuesta de terreno y datos de satélite. *Agronomie* 12: 661-668.
- Cochran W. G. 1977. *Sampling techniques*, 3ª edición. N.Y. Wiley & Sons. 428 pp.
- Cuenca R.H. 1989. *Irrigation system design: an engineering approach*. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. 552 pp.
- Doorenbos J., Pruitt W.O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y drenaje, 24. Roma, Italia. 194 pp.
- Faci J.M. 1992. Contribución a la medida y cálculo de la evapotranspiración de referencia en Aragón. Institución Fernando el Católico, Zaragoza. 125 pp.
- Faci J.M., Martínez-Cob A. 1991. Cálculo de la evapotranspiración de referencia en Aragón. Diputación General de Aragón. Zaragoza. 115 pp.
- Faci J.M., Martínez-Cob A., Cabezas A. 1994. *Agroclimatología de los regadíos del Bajo Gállego*. Diputación General de Aragón. Zaragoza. 231 pp.
- Herrero J., Aragüés R. 1988. Suelos afectados por salinidad en Aragón. *Surcos de Aragón* 9: 5-10.
- Joint Research Center. 1995. Institute for Remote Sensing Application. Annual Report 93. Report EUR 15953 EN. European Commission. 127 pp.
- M.A.P.A. 1992. Utilización de imágenes de satélite para la estimación de superficies de cultivos en la provincia de Segovia en 1990. Trabajos del M.A.P.A. Secretaría General Técnica. Boletín Mensual de Estadística, Marzo. pp 72-92.
- Martínez-Cob A., Faci J.M., Bercero A. 1997. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. Institución Fernando el Católico. Diputación Provincial de Zaragoza. En prensa.
- Mergerson J.W., Hanuschack G.A., Cook P.W. 1982. Applications of satellite remote sensing for U.S. crop acreage estimation, 1980-81 results. 16 th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 2-9 June 1982, Buenos Aires, Argentina. pp. 59-70. Environmental Research Institute of Michigan. Ann Arbor, MI:59-70.
- M.O.P.U. 1990. Plan Hidrológico. Síntesis de la documentación básica. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid. 128 pp.
- Tolosa M. 1990. El cultivo del arroz. Informaciones técnicas DGPA. Diputación General de Aragón. Zaragoza. 8 pp.

IV.2.- LOS VOLÚMENES DE AGUA APLICADOS ANUAL Y MENSUALMENTE EN UN REGADÍO ESTIMADOS A PARTIR DE LAS SUPERFICIES DE LOS CULTIVOS Y DE DATOS METEOROLÓGICOS.

RESUMEN

La gestión del agua de riego en una cuenca exige conocer el volumen de agua que va a necesitar cada polígono de riego. El presente trabajo aplica el método para estimación de volúmenes de riego que combina (i) superficies de cultivo estimadas mediante el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite, y (ii) necesidades hídricas netas de los cultivos obtenidas con la metodología FAO. Se evalúa la sensibilidad de las estimaciones de volúmenes ante el uso de datos meteorológicos del año medio y del año en curso. Se estiman los volúmenes de riego correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos en el regadío de Flumen (Huesca) para 1991, 1993 y 1994. Las estimaciones anuales y mensuales obtenidas a partir de datos meteorológicos de un año medio y de los años en curso se contrastan con los volúmenes de agua de riego facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E.). Las estimaciones más fiables se obtienen al combinar las superficies estimadas por regresión con los datos meteorológicos del año en curso. En general, la relación entre volúmenes de agua facturados por la C.H.E. y los aquí estimados oscila entre 1.08 y 1.21 cuando se establece anualmente y entre 1.05 y 1.35 cuando se realiza mensualmente. La precipitación gobierna el volumen de agua aplicado, según un análisis con registros meteorológicos de 21 años y tres escenarios de cultivos.

Palabras clave: agua de riego, superficies de cultivos, teledetección, agrometeorología.

SUMMARY

The annual and monthly irrigation water applied in an irrigation district estimated from crop hectares and weather data.

Irrigation water management within a river basin requires to know the water volume that will be needed by each irrigated district. This article uses a method of irrigation water volumes (hm^3) estimation that combines (i) the crop hectares obtained by area frame sampling and regression estimator with satellite data, and (ii) the net crop water requirements ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) obtained with FAO methodology. The sensibility of the estimations obtained by the use of actual or average year meteorological data is assessed. The net crop water requirements volumes in the irrigation district of Flumen (Huesca, Spain) in 1991, 1993, and 1994 have been estimated. The annual and monthly estimates, obtained from meteorological data of an average year and of the actual year (or month), are compared to the corresponding irrigation water volumes invoiced to farmers by the Basin Water Authority. The most reliable irrigation water estimates were obtained combining the crop hectares by regression estimator, with actual year meteorological data. The relationship between the invoiced water volumes and our estimates using the above methodology, ranges from 1.05 to 1.35 in annual estimates, and from 1.08 to 1.21 in monthly estimates. Precipitation rules the irrigation water volume, according to the analysis of weather records collected over 21 years on three crop scenarios.

Key words: water irrigation, crop surface, remote sensing, agrometeorology

INTRODUCCIÓN

En el centro del valle del Ebro, como en muchos países áridos, el control y la medida del agua de riego han sido tradicionalmente de vital importancia. El aumento de la competencia por el agua entre distintos usuarios requiere un control más preciso sobre áreas cada vez más amplias. El control y la predicción de los volúmenes de agua en cada campaña es posible si se saben las superficies de los cultivos presentes en cada regadío y las necesidades hídricas de esos cultivos. La Unidad de Suelos y Riegos del Servicio de Investigación Agroalimentaria (S.I.A.) de Aragón tiene experiencia tanto en la estimación de superficies de cultivo (Casterad et al. 1992; Casterad, 1996; Barbosa et al. 1996) como de la evapotranspiración y necesidades de agua de los cultivos en regadíos aragoneses (Faci y Martínez-Cob, 1991; Faci y Martínez-Cob, 1992; Faci et al., 1994; Martínez-Cob et al., 1997). En base a esta experiencia se ha desarrollado un procedimiento para estimar el volumen de agua de riego a partir de los conocimientos e información disponibles.

Para ensayar y validar la metodología se eligió el polígono de riego de Flumen (Huesca), en el que se podían obtener los datos necesarios para aplicarla, y del que se conocían también los volúmenes suministrados a los regantes a partir de los datos de la facturación mensual de agua por la Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E.). Una primera estimación del volumen de agua de riego aplicado durante 1991 en una parte del polígono de Flumen (Huesca) se realizó (Casterad et al., 1993) combinando las superficies de cultivos obtenidas mediante el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite (Barbosa et al., 1996) y las necesidades de riego de los cultivos para el año medio según Faci y Martínez-Cob (1992) y Tolosa (1990). Los volúmenes estimados resultaron acordes con los volúmenes de agua de riego facturados por la C.H.E. Posteriormente, en las estimaciones para 1993 y 1994 (Casterad et al., 1996) se utilizaron necesidades hídricas netas calculadas a partir de los mismos datos meteorológicos de la estación de Grañén Monte Sodeto para un año medio, pero con coeficientes de cultivo basados en información local. En este caso los volúmenes de agua de riego facturados por C.H.E. resultaron aproximadamente un 25% superiores a los estimados apuntándose la utilidad del método pese a requerir ciertos refinamientos.

Con el fin de evaluar la idoneidad del método utilizado, en el presente trabajo se estiman, para 1991, 1993 y 1994 los volúmenes de agua de riego mensuales y anuales en el regadío de Flumen (Huesca). Para dichas estimaciones se parte de las superficies de cultivos obtenidas mediante el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite, que se acoplan con los datos meteorológicos tanto del año medio como del año en curso. Los volúmenes estimados se contrastan con las facturaciones de agua de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Además se analiza el efecto del escenario de cultivos y de la precipitación en la estimación de volúmenes considerando como escenarios de cultivos los correspondientes a 1991, 1993 y 1994, y combinándolos con datos meteorológicos de 21 años.

MATERIAL Y MÉTODOS

El regadío de Flumen se sitúa en la provincia de Huesca, al sudeste de la capital. El agua de riego procedente del canal del Flumen es suministrada y medida por la C.H.E. Más detalles sobre este regadío pueden encontrarse en Casterad (1996) y Casterad et al. (1996), documentos incluidos en esta tesis como apartados II.1 y IV.1.

Para calcular los volúmenes de agua de riego según el procedimiento indicado, las superficies de los principales cultivos (Casterad, 1996) estimadas mediante el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite, se multiplicaron por las necesidades hídricas de estos calculadas mediante la metodología FAO. Estas últimas se calcularon de dos modos: (i) con datos meteorológicos de un año medio, y (ii) con datos meteorológicos del año en curso. Se realizaron las consideraciones y ajustes indicados en Casterad et al. (1996) en cuanto a las necesidades de riego del arroz y al papel de las huertas viejas y de los enclaves de secano, así como de la superficie de girasol sembrada en 1993 únicamente para percibir la subvención de la Unión Europea.

Para calcular las necesidades hídricas netas se utilizaron los registros de precipitación y temperatura de la estación meteorológica de Sariñena, para un año medio (enero de 1961 a septiembre de 1995) y para cada uno de los años en curso objeto de estudio (1991, 1993 y 1994), así como información del ciclo de los cultivos obtenida de

agentes locales de extensión agraria. Para calcular los coeficientes de calibración climática local, y a falta de datos meteorológicos secundarios fiables (humedad relativa, velocidad del viento e insolación), se utilizaron los estimados por Faci y Martínez-Cob (1991) para la estación de Grañén Monte Sodeto mediante técnicas de interpolación lineal.

En trabajos similares realizados hasta la fecha, y a falta de otra información disponible, se venían utilizando los datos meteorológicos primarios de la estación de Grañén Monte Sodeto (Faci y Martínez-Cob, 1991). La compra de datos climáticos al Centro Meteorológico Territorial de Aragón, La Rioja y Navarra permitió disponer de información actualizada de varias estaciones meteorológicas incluidas en el área de estudio. La mayoría de estas estaciones funcionan desde los años noventa por lo que carecen de una serie de años representativa para trabajar con datos de un año medio. Otras presentan, para periodos de tiempo concretos, numerosas lagunas en la recogida de datos, caso de Grañén Monte Sodeto. Descartadas estas estaciones, la elección se centró en dos: Grañén Pinilla (datos de noviembre de 1968 a agosto 1995) y Sariñena Comarcal, considerando en esta última además de los datos correspondientes a la nueva estación (desde enero de 1988) los de la antigua (desde 1961 a septiembre de 1987). Se optó por la de Sariñena, ya que de cara a futuros trabajos parece asegurada la continuidad del registro y dispone desde 1990 de datos meteorológicos secundarios que permitirán ajustar los coeficientes de calibración climática local a utilizar.

Como la metodología FAO resulta inadecuada para estimar las necesidades de riego del arroz en Flumen (Casterad et al., 1996), se tomaron como necesidades de riego los $15000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ preconizados por Tolosa (1990). Este volumen por hectárea se adapta para cada año en curso en proporción a las necesidades hídricas netas del arroz calculadas por la metodología FAO obteniendo las siguientes cifras: $15760 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 1991, $14210 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 1993 y $14880 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en 1994.

Las superficies de cultivos se estimaron por el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite. El tipo de muestreo y las imágenes utilizadas en cada caso, así como las superficies de cultivo obtenidas, puede encontrarse en Barbosa et al. (1996) y Casterad (1996).

Los volúmenes de agua facturados por la C.H.E. en el regadío de Flumen en cada uno de los años de estudio fueron facilitados por la C.H.E. (Delegación de Huesca, com. pers.). Estos datos están desglosados por meses y por comunidades de regantes y permitirán contrastar las estimaciones obtenidas. Para 1991 únicamente se disponía de las estimaciones de superficies de cultivos en los sectores de riego del IV al XI por lo que sólo se calculó el volumen de agua de riego en estos sectores. Para poder comparar estos volúmenes con los facturados por la C.H.E fue necesario eliminar las facturaciones correspondientes a dichos sectores. Esta tarea se vio dificultada por la no coincidencia entre la delimitación de las comunidades de regantes y la de los sectores de riego, ya que una comunidad puede incluir varios sectores. Ante la imposibilidad de determinar exactamente el agua facturada en los sectores I, II y III, agua a descontar, se optó por descontar el agua facturada en aquellas comunidades de regantes cuya superficies caía mayoritariamente fuera del área de estudio (Sangarrén, Barbués, Torres de Barbués, Buñales y la de un particular).

Para analizar el efecto del escenario de cultivos y la influencia de los factores que intervienen en la estimación del volumen de agua de riego sería necesario conocer, para una serie de años, las superficies de cultivos y sus necesidades hídricas. A falta de esta información se estimó, para tres escenarios diferentes de cultivos (Flumen, 1991 sectores de riego IV al XI y 1993, 1994 sectores de riego del I al XI), el volumen de agua de riego de cada uno de los 21 años entre 1969 y 1994 que disponen de registros de precipitación y temperatura completos. Los cultivos presentes en estos tres escenarios son los mismos, cambiando de un año a otro sólomente su representación en el regadío.

Se realizó un análisis comparativo entre los diferentes escenarios y entre estos y la precipitación. Para ello y mediante el programa Statgraphics (vs. 5.0) se establecieron coeficientes de correlación de rangos de-Spearman (S) y Kendall (K) (Snedecor y Cochran, 1989). Las observaciones utilizadas en la comparación fueron: (i) el volumen de agua de riego estimado para cada uno de los 21 años, y (ii) la precipitación anual en cada uno de esos años. Estos tests calculan un coeficiente de correlación basado en la ordenación de los años según los valores de las dos variables a comparar. Los coeficientes van de -1 (cuando la ordenación de una variable es creciente y la de la otra decreciente y viceversa) pasando

por 0 (no hay correlación entre las variables) a 1 (la ordenación de una variable coincide completamente con la de la otra).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Volúmenes de riego anuales

La Tabla 1 presenta los volúmenes de agua de riego correspondientes a las necesidades hídricas netas estimados en el S.I.A. y los volúmenes facturados por la C.H.E. para los tres años de estudio y para las superficies de cultivos estimadas por expansión directa y por regresión al incorporar los datos de satélite.

Tabla.1.- Volúmenes de agua de riego facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca), frente a los volúmenes estimados en el Servicio de Investigación Agroalimentaria.

Campana	C.H.E. (hm ³)	Año medio		Año en curso	
		S.I.A. (hm ³)	C.H.E./S.I.A.	S.I.A. (hm ³)	C.H.E./S.I.A.
Expansión					
1991	117.15	104.53	1.12	114.73	1.02
1993	127.61	116.75	1.09	115.82	1.10
1994	158.56	139.21	1.14	147.06	1.08
Regresión					
1991	117.15	98.59	1.19	108.62	1.08
1993	127.61	109.11	1.17	108.58	1.18
1994	158.56	131.06	1.21	138.72	1.14

El volumen de agua estimado a partir de las superficies obtenidas por expansión es siempre del orden del 6-7% mayor que si las superficies se obtienen por regresión. Como las necesidades hídricas netas utilizadas en ambos casos son las mismas, la diferencia se debe a las superficies de cultivo. Dado que la superficie obtenida por regresión es más precisa que la de expansión (Casterad, 1996), los volúmenes de agua de riego estimados a partir de las superficies de regresión serán los más precisos. Por contra, la utilización de estas superficies encarece la estimación y retrasa el proceso (Casterad, 1996). El usuario deberá valorar, según sus pretensiones, qué superficie prefiere utilizar.

En las estimaciones del año en curso no se incluyeron las necesidades hídricas netas de los cereales de invierno (cebada y trigo) en noviembre y diciembre, ya que en estos meses, la superficie ocupada se desconoce en dos de los años estudiados, por corresponder a la campaña siguiente. De todos modos el volumen de agua riego aplicado a la cebada y el trigo en estos dos meses es muy pequeño o nulo.

Los volúmenes de agua estimados a partir de datos meteorológicos del año medio son casi coincidentes para 1993 con los estimados a partir de datos del año en curso; en cambio estos últimos son superiores, 6% y 10% respectivamente, para 1994 y 1991 (Tabla 1). La utilización del año medio es útil si se desean predicciones o estimaciones tempranas del volumen de agua de riego, o si no están disponibles los datos meteorológicos del año en curso. Lógicamente cuanto más difiera la meteorología del año en curso respecto al año meteorológico medio, mayores serán las diferencias entre los volúmenes estimados por un método y otro.

La relación entre los volúmenes de agua de riego facturados por la C.H.E. y los volúmenes estimados en el S.I.A. correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos son bastante estables y oscilan entre 1.08 y 1.21, excepto para volúmenes estimados en 1991 a partir de superficies obtenidas por expansión y datos meteorológicos del año en curso, que es de 1.02. En el caso del año medio estos valores son para 1991 y 1994 mayores que los del año en curso, mientras que para 1993 son prácticamente iguales (Tabla 1). Esto indica que en 1991 y 1994 se subestima el volumen de agua cuando se utilizan los datos meteorológicos del año medio. Comparando estos resultados con los obtenidos para la misma área de estudio al utilizar datos meteorológicos de un año medio correspondiente a la estación Grañén Monte Sodeto (Casterad et al. 1996), se observa que en este último caso la relación C.H.E./S.I.A. es superior (1.23 en 1993; 1.25 en 1991 y 1.27 en 1994) y se confirma la subestimación al utilizar los datos del año medio en estos casos estudiados.

El valor más alto de la relación C.H.E./S.I.A. se da en 1993 para la estimación a priori más fiable, es decir, la obtenida a partir de volúmenes de agua de riego calculados con los datos meteorológicos del año en curso y con las superficies de cultivo estimadas por

regresión. El año 1993 presenta por tanto la mayor discrepancia entre la estimación efectuada en el S.I.A. y lo facturado por C.H.E. El análisis anual de los datos no permite establecer a qué se deben estas discrepancias. El volumen de agua de riego estimado y el facturado anualmente proporcionan una buena medida del agua consumida, si bien no reflejan el efecto de la estacionalidad tanto de los cultivos como de la evapotranspiración, precipitación, etc.

La estimación del volumen de agua de riego para los 21 años con los tres escenarios de cultivos considerados, denota una substancial variación de este con los años (Tabla 2), siendo el menor volumen estimado un 34% inferior respecto al mayor.

Tabla 2.- Valores extremos, media y coeficiente de variación de los volúmenes correspondientes a las necesidades hídricas netas para tres escenarios de cultivos y 21 años meteorológicos.

	Escenarios de cultivos		
	1991	1993	1994
Volumen máx. (hm ³)	111.03	123.75	147.75
Volumen mín. (hm ³)	74.58	81.90	97.90
Volumen medio (hm ³)	99.34	110.18	131.79
Coefficiente de variación (%)	8.93	9.06	8.83

Los coeficientes obtenidos en la comparación de escenarios están muy próximos a 1 (Tabla 3a). Esto indica que existe una ordenación muy parecida de los años estudiados para los tres escenarios de cultivos contemplados (alta correlación significativa), es decir, en estos tres escenarios influyen más las condiciones meteorológicas del año utilizado que los cultivos presentes. Quizá esta alta correlación se deba en parte a que los cultivos presentes en los tres escenarios son los mismos, como corresponde a tres años casi consecutivos, y a que se ha considerado el mismo ciclo para todos los años, variando en cada caso únicamente la superficie de cada cultivo. Mientras no se introduzcan o desaparezcan cultivos, o la representación de algunos varíe radicalmente, o haya cambios importantes en el manejo, por ejemplo segundas cosechas o cambios de la tecnología de riego, el que se produzca un mayor o menor consumo de agua se deberá fundamentalmente a las condiciones meteorológicas del año.

La correlación entre la precipitación anual y los diferentes escenarios estudiados es negativa, dando coeficientes mejores para el test de Spearman que para el de Kendall y siendo ligeramente mejores para el escenario 1994 y peores para el escenario 1991 (Tabla 3b). Además, cuando se tiene en cuenta únicamente la precipitación durante el ciclo de riego (marzo a septiembre), la correlación es mayor. Se puede considerar que existe una buena correlación negativa entre los diferentes escenarios y la precipitación. En general, años en los que se estimó un bajo volumen de agua de riego son aquellos en los que hubo mayor precipitación y viceversa.

Tabla 3.- Coeficientes Spearman (S) y Kendall (K) de correlación de rangos (a) entre tres escenarios de cultivos en Flumen (Huesca), y (b) entre estos escenarios y la precipitación.

(a)

	Escenario 1991		Escenario 1993		Escenario 1994	
	S	K	S	K	S	K
Escenario 1991	1.00**	1.00**	0.99**	0.96**	0.99**	0.93**
Escenario 1993	-	-	1.00**	1.00**	0.99**	0.95**
Escenario 1994	-	-	-	-	1.00**	1.00**

Observaciones utilizadas: Volúmenes de agua de riego estimados para 21 años meteorológicos.

(b)

	Precipitación enero-diciembre		Precipitación marzo-septiembre	
	S	K	S	K
Escenario 1991	-0.74**	-0.56**	-0.87**	-0.68**
Escenario 1993	-0.75**	-0.56**	-0.88**	-0.68**
Escenario 1994	-0.77**	-0.59**	-0.89**	-0.68**

Observaciones utilizadas: Precipitación y volúmenes de agua de riego estimados para esos 21 años meteorológicos.

Volúmenes de riego mensuales

Los volúmenes de agua de riego mensuales correspondientes a las necesidades hídricas netas de los cultivos estimadas en el S.I.A. se ajustan bien, en términos generales, a las de facturación de la C.H.E. como puede verse en la Figura 1. El ajuste es ligeramente mejor en el caso de los volúmenes estimados con datos del año en curso. En este caso no se

incluyeron los volúmenes estimados en noviembre y diciembre por la ya mencionada salvedad de los cereales de invierno.

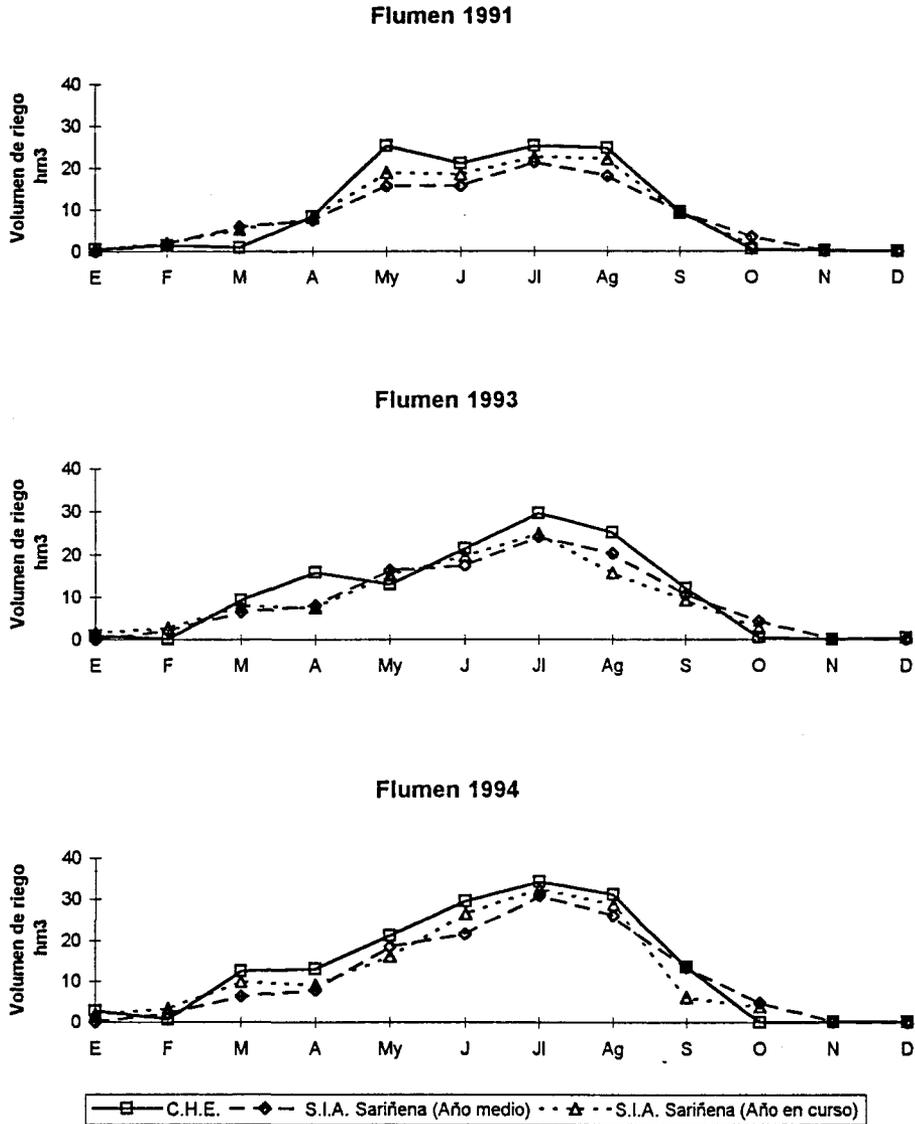


Figura 1.- Volúmenes mensuales de agua de riego facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, frente a los estimados con el método del Servicio de Investigación Agroalimentaria de Aragón utilizando datos del observatorio de Sariñena: (i) de un año meteorológico medio, (ii) registro meteorológico del correspondiente año en curso.

La regresión lineal entre los facturaciones y las estimaciones de enero a octubre, da r^2 significativas al 99% de 0.93, 0.89 y 0.93 para 1991, 1993 y 1994 respectivamente en el caso del año medio y 0.97, 0.86 y 0.94 en el caso del año en curso corroborando que existe un buen ajuste.

Las facturaciones en los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre, son menores de 2.7 hm^3 , y en octubre, noviembre y diciembre no llegan a 0.16 hm^3 . Llama la atención, dentro de estos cinco meses, la mayor facturación que se produce, según los años, en enero o febrero. Un análisis más detallado muestra que el agua facturada en estos dos meses se concentra principalmente en el tercer tramo de riego de Flumen. Ello parece relacionado con riegos de apoyo aplicados, sólo si existe agua disponible, a cereal de invierno manejado como cultivo de secano en ciertos suelos de menor potencialidad agrícola concentrados en este tramo.

La comparación en estos cinco meses del volumen de agua de riego facturado y estimado no aporta mucha información ya que se está fuera de la campaña de riego y el agua en estos meses se destina a otras necesidades como suministro a granjas, preparación de la tierra para cultivo, los mencionados riegos de apoyo, mantenimiento y limpieza de la red de distribución.

En octubre se observa un importante desajuste entre el volumen de agua de riego estimado y el facturado, el cual resulta todos los años, contrariamente a lo esperable, inferior al estimado (Figura 1). De todos los cultivos considerados, el arroz tiene la mayor repercusión en el consumo de este mes, ya que es, con diferencia, el cultivo para el que se han adoptado las mayores necesidades hídricas netas. Como ya se ha indicado, estas necesidades se establecieron en base a las calculadas por la metodología FAO. El programa utilizado para calcularlas considera el ciclo del arroz hasta finales de octubre, aplicando durante todo este mes el correspondiente coeficiente de cultivo tabulado por FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977) cuando en realidad, debido al manejo bajo capa de agua circulante, ya no se le aplica riego. En el futuro se deberá emprender la modificación del programa de cálculo de necesidades hídricas en lo referente al arroz, ajustando los

coeficientes de cultivo del arroz en función de su ciclo vegetativo y de su manejo en la zona de estudio.

La Tabla 4 presenta el cociente C.H.E./S.I.A. mensual en la campaña de riegos considerada (marzo-septiembre). En general existe un buen ajuste mensual y la relación C.H.E./S.I.A. para los meses correspondientes al ciclo de riego pero considerando marzo, abril y mayo en conjunto es estable y se mueve mayoritariamente entre valores 1.05 y 1.35.

Tabla 4.- Valores mensuales del cociente C.H.E./S.I.A.

Meses	Año medio			Año en curso		
	1991	1993	1994	1991	1993	1994
Marzo	0.16	1.43	1.97	0.18	1.18	1.25
Abril	1.12	1.96	1.66	1.02	2.11	1.43
Mayo	1.61	0.80	1.14	1.34	0.86	1.32
Marzo, abril y mayo	1.19	1.24	1.43	1.07	1.25	1.33
Junio	1.34	1.22	1.37	1.15	1.09	1.12
Julio	1.18	1.23	1.11	1.11	1.19	1.05
Agosto	1.37	1.24	1.19	1.12	1.61	1.08
Septiembre	0.99	1.15	1.02	1.03	1.31	2.25

El comportamiento de las estimaciones S.I.A. respecto a las facturaciones C.H.E. en los meses de marzo, abril y mayo, difiere según el año (Figura 1). Las facturaciones parecen estar en relación inversa a la precipitación. En 1991 la precipitación presenta un máximo en marzo, disminuyendo en abril y mayo (Tabla 5), mientras que las facturaciones aumentan de marzo a mayo (Figura 1). En este año las estimaciones S.I.A. para marzo están por encima de las facturaciones C.H.E. En cambio en 1993 los máximos se presentan en abril y mayo facturándose en mayo menos agua que otros años y superando este mes las estimaciones a la facturaciones. En 1994 la precipitación presenta un mínimo en marzo y un máximo en mayo mientras que las facturaciones aumentan de marzo a mayo. En este año las estimaciones siguen un comportamiento similar a las facturaciones.

Las facturaciones en estos tres meses parecen compensarse. La relación C.H.E./S.I.A. presenta valores más dispares y extremos que en otros meses (Tabla 4). La comparación conjunta para los tres meses de los volúmenes estimados y facturados proporciona cocientes C.H.E./S.I.A. de magnitud similar a los obtenidos otros meses. Debe tenerse en cuenta que en abril y mayo se siembran los cultivos de verano, con el

consiguiente incremento del consumo de agua para la preparación de la tierra y nascencia del cultivo. Según las condiciones meteorológicas el agricultor adelanta o retrasa la siembra y las operaciones culturales asociadas para conseguir condiciones de tempero. En la estimación del volumen de agua se utilizó todos los años el mismo ciclo de cultivo, cargando a su comienzo estas necesidades de agua, sin embargo el riego se aplica con anterioridad a la siembra, de ahí que en ocasiones no coincida la estimación con la facturación. Esta última puede haberse realizado en un mes distinto al de la siembra lo que explicaría el hecho de que los cocientes C.H.E./S.I.A. sean mejores cuando se consideran los tres meses conjuntamente. Quizás estudios semanales o diarios permitan explicar el comportamiento en estos meses y mejorar las estimaciones.

Tabla 5.- Precipitación en milímetros medida en la estación de Sariñena (Huesca).

Meses	Año medio	1991	1993	1994
Enero	26.0	12.2	0.0	2.0
Febrero	26.6	17.8	12.1	19.0
Marzo	26.7	44.9	10.3	3.0
Abril	40.8	18.1	59.4	19.2
Mayo	47.7	5.6	55.1	74.0
Junio	38.3	6.3	14.9	0.0
Julio	26.3	8.1	0.0	20.0
Agosto	33.6	1.0	82.3	13.9
Septiembre	42.6	54.0	42.7	119.8
Octubre	46.1	74.5	70.1	65.1
Noviembre	39.5	37.6	10.9	37.6
Diciembre	29.2	11.5	0.9	8.3
Total	423.4	291.6	358.7	381.9

La diferencia entre las estimaciones realizadas a partir de datos del año medio y del año en curso también guardan relación con la precipitación. A mayor diferencia entre las precipitaciones del año medio y año en curso, mayor diferencia en las estimaciones (Tabla 5 y Figura 1). En agosto de 1993 y septiembre de 1994, meses en los que la precipitación fue elevada y mucho mayor que la del año medio (Tabla 5) se producen las mayores diferencias entre las estimaciones con datos del año medio y datos del año en curso (Figura 1).

En verano la lluvia suele ser escasa y en forma de tormentas, por tanto la facturación no se ve tan afectada por las precipitaciones, ya que el agricultor no suele modificar las peticiones de agua pues la lluvia caída no es totalmente aprovechable. Parte se evapora

rápidamente pues tras las tormentas son frecuentes las altas temperaturas y los vientos, y parte se pierde por escorrentía. La metodología del Soil Conservation Service de los EE.UU (Cuenca, 1989) seguida para el cálculo de la precipitación efectiva, probablemente no se ajuste a las condiciones indicadas; ello explicaría la subestimación del volumen de agua (Figura 1). Esta subestimación se traduce en un aumento notable del cociente C.H.E./S.I.A. en agosto de 1993 y septiembre de 1994 cuando se realizaron estimaciones con datos del año en curso. Mejoras en el cálculo de la precipitación efectiva permitirán obtener cocientes más ajustados.

Por otro lado, los mayores desajustes entre las estimaciones y las facturaciones en los años estudiados se asocian a meses de verano con lluvia superior a la del correspondiente mes medio. Esto traduce la inercia inherente a la distribución de agua por un gran sistema de riegos. Además en este regadío predomina el sistema de inundación, con pocas balsas de regulación en las fincas. La C.H.E. suministra el volumen encargado por cada comunidad de regantes en el momento solicitado por esta, y para anular el encargo se requiere una antelación de al menos dos días.

También mensualmente se realizó un análisis comparativo entre tres escenarios diferentes de cultivos y la precipitación para una serie de 21 años. Se obtuvieron resultados similares a los del análisis anual. La relación entre escenarios es significativamente positiva con valores del 1^{***} o 0.99^{**} , excepto para los meses de junio y agosto donde los valores fueron algo menores (para julio $S=0.69^{**}$ y $K=0.57^{**}$ entre el escenario 1994 y los otros dos, y para agosto $S=0.78^{**}$ y $K=0.82^{**}$ entre el escenario 1991 y los otros). La relación de los tres escenarios de cultivo con la precipitación es inversa y da valores más altos que anualmente, en general superiores a 0.85^{**} para el coeficiente de Spearman y 0.75^{**} para el de Kendall. Únicamente en junio la relación no fue significativa dando valores muy bajos ($S=-0.15$ en la relación con los escenarios 1991 y 1993 y $S=-0.25$ en la relación con el escenario 1994; $K=-0.09$ en los escenarios 1991 y 1993 y $K=-0.15$ en el escenario 1994). En julio los valores también fueron algo menores que para otros meses $S=-0.75^{**}$ y $K=-0.58^{**}$. También se analizó para cada mes la relación de los escenarios con la precipitación del mes anterior obteniéndose coeficientes más bajos.

Además se analizó la relación entre meses siendo en general mala excepto para abril y mayo, meses en los que parece haber cierta relación inversa ($S=-0.53^*$ y $K=-0.43^{**}$ para los tres escenarios). Esto parece confirmar en cierta medida los mejores resultados obtenidos cuando se tratan estos meses conjuntamente, ya que los años con menor volumen estimado para abril son los años con mayor volumen en mayo y viceversa. Además mayo es el único mes que presenta una cierta relación directa entre la ordenación de los años estudiados según el volumen de agua estimada para los escenarios de cultivos y la ordenación en función de la precipitación del mes anterior ($S=0.44^*$ y $K=0.37^*$), lo que podría aprovecharse para mejorar la estimación en este mes.

CONCLUSIONES

Tanto los datos meteorológicos del año medio como los del año en curso proporcionan una medida fiable del agua aplicada anual y mensualmente en el regadío estudiado, cuando se combinan con las superficies de los cultivos obtenidas mediante el método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite. Los volúmenes estimados son acordes con los facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Las estimaciones de volumen de agua de riego más fiables se obtienen al utilizar las superficies estimadas por regresión y los datos meteorológicos del año en curso. La utilización de superficies por expansión y datos meteorológicos del año medio proporcionan también buenos resultados y serán de gran utilidad cuando se precisen estimaciones predictivas.

Generalmente, el volumen de agua de riego anual y mensual estimado a partir de las superficies de cultivo obtenidas por expansión es mayor que a partir de las superficies obtenidas por regresión. En los tres años estudiados el volumen estimado con datos meteorológicos del año en curso es superior al estimado con datos del año medio.

Para el regadío de Flumen (Huesca) la relación C.H.E./S.I.A. es estable. En los tres años estudiados las facturaciones anuales de la Confederación Hidrográfica del Ebro son entre un 8 y 21% superiores a las estimaciones del Servicio de Investigación Agroalimentaria, y entre un 5 y un 35% superiores cuando la comparación es mensual.

Para una serie de 21 años meteorológicos, los volúmenes de agua estimados para los tres escenarios de cultivos contemplados, se ordenan de forma no significativamente diferente, denotando que las diferencias de volúmenes calculados para esos años y escenarios no se deben a diferencias entre los escenarios. La alta correlación significativa entre los volúmenes de agua estimados y la precipitación para la serie de 21 años, con tres escenarios de cultivos, confirma que el volumen de riego está supeditado a la precipitación, con la consiguiente fuerte variabilidad.

El trabajo realizado señala la posibilidad de simular volúmenes de agua a reservar para un polígono de riego considerando diferentes escenarios de cultivos. También sugiere la conveniencia de refinar el cálculo de las necesidades hídricas, mediante mejoras como.

- Ajustar los coeficientes de cultivo. Será necesario precisar el ciclo de cultivos de cada año.
- Incorporar en el cálculo de la evapotranspiración, siempre que estén disponibles, variables meteorológicas secundarias observadas.
- Mejorar el procedimiento de cálculo de precipitación efectiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 (18): 3665-3674.
- Casterad M A. 1996. Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 11 (2). En prensa.
- Casterad M.A., Arán M., Herrero J., Albizua L. 1992. Estimación de superficies de cultivos en pequeños regadíos mediante encuesta de terreno y datos de satélite. *Agronomie* 12: 661-668.
- Casterad M A., Herrero J. 1993. La teledetección en la gestión del agua de riego. V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. Las Palmas de Gran Canaria, 10 -12 noviembre. 14 pp. En prensa.
- Casterad M A., Herrero J., Martínez-Cob A. 1996. Combinación de datos de terreno, de satélite y meteorológicos para estimar el agua de riego anual por distrito. XIV

- Congreso Nacional de Riegos, Aguadulce, Almería, 11-13 de junio. Junta de Andalucía. Congresos y Jornadas 37/96: 518-525.
- Cuenca R.H. 1989. Irrigation system design: an engineering approach. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. 552 pp.
- Doorenbos J., Pruitt W.O. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y drenaje, 24. Roma, Italia. 194 pp.
- Faci J., Martínez-Cob A. 1991. Cálculo de la evapotranspiración de referencia en Aragón. Diputación General de Aragón. Zaragoza. 231 pp.
- Faci J., Martínez-Cob A. 1992. Necesidades de agua de riego de los cultivos en Aragón. Riegos y Drenajes XXI (61): 34-38.
- Faci J.M., Martínez-Cob A., Cabezas A. 1994. Agroclimatología de los regadíos del Bajo Gállego. Diputación General de Aragón. Zaragoza. 231 pp.
- Martínez-Cob A., Faci J.M., Bercero A. 1997. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. Institución Fernando el Católico. Diputación Provincial de Zaragoza. En prensa.
- Snedecor G.W., Cochran W.G. 1989. Statistical Methods. Eighth Edition. Iowa State University Press. 503 pp.
- Tolosa M. 1990. El cultivo del arroz. Informaciones técnicas DGPA. Diputación General de Aragón. Zaragoza. 8 pp.

Capítulo V.- Conclusiones generales y consideraciones finales

Conclusiones generales y consideraciones finales

Pese a que las conclusiones del presente trabajo ya se presentan en cada uno de los artículos científicos que integran esta Memoria, se ha considerado conveniente incluir este Capítulo que compendia las conclusiones obtenidas así como algunas recomendaciones y líneas futuras de trabajo.

En la presente Tesis se evidencia que es posible aforar las superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones con un muestreo por marco de áreas y la aplicación de un estimador por regresión con datos del satélite, concretamente Landsat-TM. También se consigue estimar el volumen de agua a aplicar en un polígono de riego combinando los aforos con las necesidades hídricas de los cultivos, obtenidas mediante la metodología descrita por la FAO adaptada a las condiciones locales. Las estimaciones ensayadas han resultado válidas en todas las áreas estudiadas, incluso en aquellas cuyas condiciones de intensa parcelación y de heterogeneidad por salinidad auguraban las mayores dificultades. Con ello, los procedimientos presentados pueden considerarse aplicables, tanto en los regadíos del valle del Ebro como en otros de similares características.

En el presente trabajo se han dado varias recomendaciones para la aplicación del método del marco areolar y estimador por regresión con datos de satélite en dichas demarcaciones. Tales recomendaciones afectan al diseño del muestreo, a la ejecución del trabajo de campo, al tratamiento de las imágenes y a la obtención de estadísticas. Para no incurrir en repetición se enumeran a continuación las más generales. (i) Utilizar como unidad de muestreo el segmento cuadrado de 500 m × 500 m y aplicar tasas de muestreo entre el 3 y 5% de la superficie del regadío. Un tamaño adecuado de bloque cuando se aplica un muestreo sistemático aleatorio por bloques según un marco de áreas basado en la cuadrícula U.T.M., es el de 5 km × 5 km.; (ii) Realizar dos campañas de observaciones de campo para asegurarse el inventario tanto de los cultivos de invierno como los de verano.; (iii) Realizar una clasificación supervisada multitemporal con toma de áreas de entrenamiento automática; y (iv) Acompañar las estimaciones de sus correspondientes parámetros de precisión.

Las estimaciones de volúmenes de agua de riego más fiables se obtienen a partir de las superficies de cultivos estimadas por el método anteriormente mencionado y los datos meteorológicos del año en curso. Estimaciones predictivas podrán realizarse combinando superficies de cultivos obtenidas por expansión y datos meteorológicos de un año medio.

Conclusiones generales y consideraciones finales

Los factores y variables que intervienen en las estimaciones anteriormente mencionadas son muchos: fenología, manejo y política de subvenciones a cultivos; satélite a utilizar, fechas de la imagen, tratamientos a aplicar; meteorología, suelos, sistemas de riego, tamaño de las parcelas, etc. Por supuesto, el procedimiento presentado a lo largo de esta Memoria admite mejoras y variaciones, para lo cual deberá analizarse la influencia de esos factores y variables. Esto supone que si bien el procedimiento está al alcance de cualquier usuario, su seguimiento y mejora son difícilmente abordables por los pequeños usuarios, requiriendo la participación y el interés de las instituciones y organismos territoriales.

Tanto la información generada, como las metodologías descritas en la presente Tesis son de utilidad para el seguimiento y control de los cultivos de interés o subvencionados, de la vegetación natural y de las áreas desnudas. Esta información puede ser decisiva en la gestión y uso del agua, sobre todo en sistemas de riego, como el altoaragonés, cuyos principales embalses son interdependientes y están conectados con los regadíos por medio de una red de canales la cual permite elegir los desembalses de uno u otro reservorio según las necesidades.

Un paso más sería integrar las metodologías mencionadas en un sistema de información geográfica. Debe tenerse en cuenta que la información de superficies de cultivos generada no se limita a los afloramientos, sino que incluye su cartografía. La metodología de estimación de volúmenes de agua de riego presentada utiliza para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos los valores de diferentes variables meteorológicas medidos en las estaciones y proporciona una estimación numérica del volumen de agua de riego. Técnicas de interpolación, como por ejemplo la geoestadística, ya se han utilizado en Aragón para la confección de mapas de precipitación y evapotranspiración. También es posible obtener mapas de temperaturas, evapotranspiración, vigor de la vegetación o estrés mediante teledetección. La incorporación de estas técnicas y productos al proceso permitirá regionalizar y ubicar los fenómenos, y obtener mapas de consumo de agua.

La disponibilidad de más capas de información como mapas de suelos, fenología de cultivos, subvenciones, mercados, reservas de agua, diseño y estado de la red de distribución, etc., permitirá una gestión ágil y precisa del regadío, con repercusiones en los ámbitos agrícolas y medioambientales y, en general, en la gestión del territorio.

Anejos

Anejo I.- Fórmulas de expansión y regresión

Expansión directa

La superficie de cada cultivo u ocupación del territorio (\hat{Y}) se estima mediante:

$$\hat{Y} = N \bar{y}$$

donde

N número total de segmentos posibles en el área de estudio.

\bar{y} superficie media del cultivo u ocupación en los segmentos muestreados.

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

siendo

n número de segmentos muestreados.

y_i superficie del cultivo u ocupación en el segmento i .

La varianza de la estimación es:

$$V(\hat{Y}) = \frac{N(N-n)}{n} S^2$$

donde

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$$

El coeficiente de variación (CV) es:

$$CV = \frac{\sqrt{V(\hat{Y})}}{\hat{Y}} \times 100$$

Estimador de regresión

La superficie de cada cultivo u ocupación del territorio (\hat{Y}_{lr}) se estima mediante:

$$\hat{Y}_{lr} = N \bar{y}_{lr}$$

donde

N número total de segmentos posibles en el área de estudio.
 \bar{y}_{lr} estimación de regresión lineal.

$$\bar{y}_{lr} = \bar{y} + b(\bar{X} - \bar{x})$$

siendo, para cada cultivo u ocupación:

\bar{y} superficie media muestreada en los segmentos.
 b pendiente de la recta de regresión de la superficie muestreada, sobre la superficie clasificada en los segmentos.
 \bar{X} superficie media clasificada en todos los segmentos posibles en el área de estudio. Es la media en la población de segmentos, no en la muestra.
 \bar{x} superficie media clasificada en los segmentos.

La varianza de la estimación es:

$$V(\hat{Y}_{lr}) = \frac{N(N-n)}{n} S^2(1-\rho^2)$$

donde ρ^2 es el coeficiente de correlación entre x e y

El coeficiente de variación (CV_{lr}) es:

$$CV_{lr} = \frac{\sqrt{V(\hat{Y}_{lr})}}{\hat{Y}_{lr}} \times 100$$

La eficiencia relativa (ER) de la estimación por regresión frente a la de expansión es:

$$ER = \frac{V(\hat{Y})}{V(\hat{Y}_{lr})} = \frac{1}{1-\rho^2}$$

Anejo II.- Segmentos inventariados y su localización

Relación de Tablas

- Tabla II.1.- Segmentos inventariados en la huerta vieja de 10 términos municipales ribereños del Ebro (Zaragoza) en 1990, con su localización geográfica y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.
- Tabla II.2.- Segmentos inventariados en el nuevo regadío de Quinto (Zaragoza) en 1990, con su localización geográfica y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.
- Tabla II.3.- Segmentos inventariados en los sectores IV al XI del regadío de Flumen (Huesca) en 1990 y 1991, con su localización y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.
- Tabla II.4.- Segmentos inventariados en el regadío de Flumen (Huesca) en 1993 y 1994, con su localización geográfica y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.
- Tabla II.5.- Segmentos inventariados en Alfamén y La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) en 1994, con su localización geográfica y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.

Abreviaturas utilizadas

C.H.E.: Confederación Hidrográfica del Ebro

C.G.C.C.T.: Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria

M.T.N.: Mapa Topográfico Nacional

Anejo II

Tabla II.1.- Segmentos inventariados en la huerta vieja de 10 términos municipales ribereños del Ebro (Zaragoza) en 1990, con su localización geográfica y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.

Segmento nº	Esquina NW		M.T.N. 1:50000	Ortofoto C.G.C.C.T. 1:5000	Fecha de vuelo
	UTM X	UTM Y			
1	688000	4611000	384	04 02	Septiembre 1988
3	683500	4610000	id.	02 02 y 03 02	id.
4	684000	4610000	id.	03 02	id.
6	688000	4610000	id.	04 02	id.
7	691000	4609500	id.	05 02 y 05 03	id.
8	684000	4609000	id.	03 03	id.
9	686500	4608000	id.	03 03 y 04 03	id.
12	689000	4606000	id.	04 04 y 05 04	id.
13	691000	4606000	id.	05 04	id.
22	694000	4602000	id.	06 05 y 07 05	id.
23	696000	4602000	id.	07 05	id.
26	702000	4601000	id.	10 05	id.
28	699000	4600000	id.	08 06 y 09 06	id.
29	704000	4600000	id.	10 06 y 11 06	id.
31	707500	4593000	413	01 02	id.
32	707000	4592000	412 y 413	11 02 (412) y 01 02 (413)	id.
33	712000	4589500	413	02 03 y 03 03	id.
34	712000	4589000	id.	02 03 y 03 03	id.
35	710000	4588000	id.	02 04	id.
38	713000	4586000	id.	03 04	id.

Tabla II.2.- Segmentos inventariados en el nuevo regadío de Quinto (Zaragoza) en 1990, con su localización geográfica y una realación de la documentación cartográfica utilizada en campo.

Segmento nº	Esquina NW		M.T.N. 1:50000	Ortofoto C.G.C.C.T. 1:5000	Fecha de vuelo
	UTM X	UTM Y			
1	706000	4590000	412	11 03	Septiembre 1988
2	702500	4589000	id.	10 03	id.
3	704500	4588500	id.	10 03, 10 04, 11 03 y 11 04	id.
4	706500	4588500	id.	11 03 y 11 04	id.
5	703500	4588000	id.	10 04	id.
6	705000	4588000	id.	11 04	id.
7	707000	4588000	412 y 413	11 04 (412) y 01 04 (413)	id.
8	703500	4587000	id.	10 04	id.
9	705000	4587000	id.	11 04	id.
10	707000	4587000	412 y 413	11 04 (412) y 01 04 (413)	id.
11	709000	4587000	id.	01 04	id.
12	705000	4586000	id.	11 04	id.
13	707000	4586000	412 y 413	11 04 (412)y 01 04 (413)	id.
14	709000	4586000	413	01 04	id.
15	706000	4585000	412	11 05	id.
16	708000	4585000	413	01 05	id.
17	706000	4584000	412	11 05	id.
18	708000	4584000	413	01 05	id.
19	709500	4583000	id.	01 05 y 02 05	id.

Segmentos inventariados y su localización

Tabla II.3.- Segmentos inventariados en los sectores IV al XI del regadío de Flumen (Huesca) en 1990 y 1991, con su localización y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.

Segmento nº	M.T.N. 1:50000	Vuelo	Fotograma	Observaciones
679	286	IRYDA 1975	52679	En 1990 inventariado pero no utilizado para estadística
681	id.	id.	52681	Inventariado únicamente en 1991
693	324	id.	52693	
696	id.	id.	52696	
697	id.	id.	52697	
700	id.	id.	52700	
711	id.	id.	52711	
718	id.	id.	52718	
721	id.	id.	52721	Inventariado únicamente en 1990
729	id.	id.	52729	
732	id.	id.	52732	En 1990 inventariado pero no utilizado para estadística
747	id.	id.	52747	
751	id.	id.	52751	
755	id.	id.	52755	
758	id.	id.	52758	
762	id.	id.	52762	
775	id.	id.	52775	En 1990 inventariado pero no utilizado para estadística
780	id.	id.	52780	Inventariado únicamente en 1991
781	id.	id.	52781	
786	id.	id.	52786	En 1990 inventariado pero no utilizado para estadística
794	id.	id.	52794	
796	id.	id.	52796	
797	id.	id.	52797	
800	id.	id.	52800	Inventariado únicamente en 1991
802	id.	id.	52802	Inventariado únicamente en 1991
805	325	id.	52805	En 1990 inventariado pero no utilizado para estadística
814	324 y 325	id.	52814	
815	324	id.	52815	
817	id.	id.	52817	
818	id.	id.	52818	
826	356	id.	52826	
827	id.	id.	52827	
837	357	id.	52837	
841	356	id.	52841	
847	id.	id.	52847	
866	357	id.	52866	En 1990 inventariado pero no utilizado para estadística
871	id.	id.	52871	En 1990 inventariado pero no utilizado para estadística

Anejo II

Tabla II.4.- Segmentos inventariados en el regadío de Flumen (Huesca) en 1993 y 1994, con su localización geográfica y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.

Segmento nº	Réplica	Esquina NW		M.T.N. 1:50000	Hojas parcelario C.H.E. 1:5000	Vuelo	Fotograma
		UTM X	UTM Y				
1	1	712000	4559000	286	6.2 y 6.3	INDO, 1990	8011
2	3	711000	4658000	id.	6.2 y 7.2	id.	8011
3	2	710000	4656000	id.	7.2	id.	5665
4	2	715000	4656000	id.	7.3 y 7.8	IRYDA 1975	52670
5	1	712000	4654000	id.	8.2 y 8.3	id.	52682
6	1	717500	4653500	324	8.4 (286) y 1.4	id.	52676
7	3	711000	4653000	id.	8.2 (286) y 1.2	MappCoresa sept. 1977	A05
8	3	716000	4653000	id.	1.4	IRYDA 1975	52690
9	3	721000	4652500	id.	1.5	id.	52685
10	2	705000	4651000	id.	1.8, 2.8 y 1.1	MappCoresa sept. 1977	A01
11	2	710000	4651000	id.	1.2 y 2.2	id.	A04
12	2	715000	4651000	id.	1.3 y 2.3	IRYDA 1975	52697
13	2	720000	4651000	id.	2.5	id.	52702
14	1	712000	4649000	id.	2.2, 2.3, 3.2 y 3.3	id.	52708
15	1	717000	4649000	id.	2.4 y 3.4	id.	52713
16	1	722000	4649000	id.	2.5 y 3.5	id.	52717
17	3	716000	4648000	id.	3.4	id.	52711
18	3	721000	4648000	id.	3.5	id.	52716
19	2	715000	4646000	id.	4.3	id.	52734
20	2	720000	4646000	id.	4.5	id.	52729
21	2	725000	4646000	id.	4.6	id.	52725
22	1	722000	4644000	id.	5.5	id.	52755b
23	1	727500	4643400	id.	5.7	id.	52760
24	3	721000	4643000	id.	5.5	id.	52754b
25	3	726000	4643000	id.	5.6 y 5.7	id.	52758
26	3	731000	4643000	id.	5.8	id.	52763
27	2	725000	4641000	id.	6.6	id.	52787
28	2	730000	4641000	id.	6.7 y 6.8	id.	52782
29	2	735000	4641000	325	7.1	id.	52777
30	1	727000	4639000	324	7.7	id.	52797
31	1	732000	4639000	id.	7.7	id.	52802
32	1	737000	4639000	325	7.2	id.	52806
33	3	726000	4638000	id.	7.6	id.	52796
34	3	731000	4638000	id.	7.8 y 8.8	id.	52800 y 52816
35	3	736000	4638000	325	7.1 y 8.1	id.	52811
36	2	730000	4636000	324	8.7 y 8.8	id.	52817
37	2	735000	4636000	325	8.1	id.	52830
38	1	732000	4634000	356	1.8	id.	52840
39	3	736000	4633000	357	2.1	id.	52836
40	2	735000	4630000	id.	3.1	id.	52852
41	1	736500	4629000	id.	3.1	id.	52854
42	3	736000	4628000	id.	4.1	id.	52859
43	2	735500	4626000	id.	5.1	id.	52865
44	1	737000	4624000	id.	5.1, 5.2 y 6.1	id.	52871

Segmentos inventariados y su localización

Tabla II.5.- Segmentos inventariados en Alfamén y La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) en 1994, con su localización geográfica y una relación de la documentación cartográfica utilizada en campo.

Segmento nº	Réplica	Esquina NW		M.T.N. 1:50000	Ortofoto C.G.C.C.T. E: 1.5000		Vuelo
		UTM X	UTM Y				
1.1	1	637000	4594000	410	06 01		Julio 1990
1.2	1	642000	4594000	id.	08 01		id.
1.3	1	647000	4594000	id.	10 01		id.
1.4	1	652000	4594000	411	01 01		Agosto 1989
1.5	1	632500	4589000	410	04 03		Julio 1990
1.7	1	647500	4589000	id.	10 03		id.
1.8	1	652000	4589000	411	01 03		Agosto 1989
2.1	2	635000	4596000	382 y 410	05 06 (382) y 05 01 (410)		Julio 1990
2.2	2	645000	4596000	382 y 410	09 06 (382) y 09 01 (410)		id.
2.3	2	650000	4596000	410	11 01		id.
2.4	2	630000	4591000	id.	03 02		id.
2.5	2	635000	4591000	id.	05 02		id.
2.7	2	645000	4591000	id.	09 02		id.
2.8	2	650000	4591000	id.	11 02		id.
2.9	2	645500	4586000	id.	09 04		id.
3.1	3	636000	4597000	382	05 06 y 06 06		id.
3.2	3	646500	4597500	id.	10 06		id.
3.3	3	636500	4593000	410	06 01 y 06 02		id.
3.4	3	641000	4593000	id.	07 01, 07 02, 08 01 y 08 02		id.
3.5	3	646000	4593000	id.	09 01, 09 02, 10 01 y 10 02		id.
3.6	3	651000	4593000	410 y 411	11 01 y 11 02 (410) 01 01 y 01 02 (411)		id.
3.7	3	646000	4588000	410	09 03 y 10 03		id.
3.8	3	651000	4588000	id.	11 03		id.
4.1	4	636000	4595000	id.	05 01 y 06 01		id.
4.2	4	641000	4595000	id.	07 01 y 08 01		id.
4.3	4	646000	4595000	id.	09 01 y 10 01		id.
4.4	4	651000	4595000	410 y 411	11 01 (410) y 01 01 (411)		Julio 1990(410) y Agosto 1989(411)
4.5	4	631000	4590500	410	03 02 y 04 02		Julio 1990
4.6	4	636000	4590000	id.	05 02, 05 03, 06 02 y 06 03		id.
4.8	4	646000	4590000	id.	09 02, 09 03, 10 02 y 10 03		id.
4.9	4	651000	4590000	id.	11 02 y 11 03		id.

Anejo III.- Resultados del inventario y de la clasificación

Relación de Tablas

- Tabla III.1.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en la huerta vieja de diez términos municipales ribereños del Ebro (Zaragoza) en verano de 1990.
- Tabla III.2.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el nuevo regadío de Quinto (Zaragoza) en verano de 1990.
- Tabla III.3.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en los sectores IV al XI del regadío de Flumen (Huesca) en verano de 1990.
- Tabla III.4.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en los sectores IV al XI del regadío de Flumen (Huesca) en 1991.
- Tabla III.5.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en primavera de 1993.
- Tabla III.6.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en verano de 1993.
- Tabla III.7.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en primavera de 1994.
- Tabla III.8.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en verano de 1994.
- Tabla III.9.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en Alfamén y La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) en 1994.
- Tabla III.10.- Superficies (ha) de los principales cultivos en la huerta vieja del regadío de Flumen (Huesca) obtenidas por clasificación supervisada de imágenes Landsat TM.

En las Tablas el guión representa la ausencia de la clase en el segmento, o su presencia < 0.01 hectáreas.

Al final del Anejo se incluye un desplegable con la leyenda de los principales cultivos y ocupaciones. La leyenda utilizada cada año ha variado en función de los cultivos y ocupaciones de cada área de estudio y en base a la experiencia adquirida al realizar el inventario de los segmentos muestreados. La leyenda que se presenta recoge todos las clases que se han definido en los diferentes casos estudiados.

La metodología de delineación de parcelas-uso inventariadas en campo utilizada hasta 1993 (Capítulo II, Apartado II.1. Pág. 34) proporciona la superficie de los principales cultivos y ocupaciones. En las Tablas III.1, 2, 3, 4(a) únicamente se presenta la superficie inventariada de los cultivos y ocupaciones que posteriormente se consideraron en la

Anejo III

obtención de estadísticas de superficies. A partir de 1993 la información de campo se digitizó e incorporó como cobertura Arc-Info obteniéndose la superficie de todas las parcelas-uso, según se refleja en las Tablas III.5, 6, 7, 8, 9 (a).

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.1.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en la huerta vieja de diez términos municipales ribereños del Ebro (Zaragoza) en verano de 1990.

(a) Inventariado en los segmentos. Agosto 1990.

Segmento	AF	FR	MZ	RS	BA	TA
1	2.10	0.68	10.73	0.45	0.53	3.75
3	10.95	-	3.60	-	6.68	-
4	6.15	-	6.00	2.63	0.53	1.95
6	4.13	-	10.80	4.28	0.23	-
7	5.63	-	8.85	-	-	7.05
8	5.25	-	6.75	0.60	1.28	2.10
9	2.10	-	8.48	-	-	1.20
12	5.93	-	-	2.70	4.05	2.10
13	4.58	-	3.30	3.53	-	1.35
22	-	0.98	0.53	-	3.90	18.90
23	5.55	-	8.18	1.13	1.20	1.28
26	7.35	-	2.10	-	0.38	-
28	5.40	-	4.88	-	8.55	1.88
29	9.45	0.15	0.53	-	0.23	3.53
31	7.50	0.75	12.00	0.45	0.38	-
32	10.95	-	0.30	1.95	0.08	0.53
33	-	-	10.65	9.23	-	1.88
34	0.75	0.30	5.85	3.53	-	5.85
35	3.30	-	6.68	6.00	-	3.98
38	1.88	-	0.38	1.13	-	9.00
Total	98.95	2.86	110.59	37.61	28.02	66.33
%	19.79	0.57	22.12	7.52	5.60	13.27

(b) Clasificado en los segmentos. Imagen Landsat TM del 20 de julio de 1990.

Segmento	AF	FR	MZ	RS	BA	TA
1	3.19	0.06	8.25	2.13	0.44	1.00
3	12.00	0.38	1.31	1.56	0.44	0.50
4	4.50	0.13	4.44	3.19	1.81	0.31
6	6.19	0.25	7.56	2.94	0.31	0.25
7	4.88	0.13	8.44	0.38	4.88	-
8	6.88	0.13	7.00	2.13	0.56	0.25
9	2.69	0.31	9.75	1.25	2.06	0.13
12	5.81	-	2.19	1.25	6.00	2.19
13	7.69	0.25	3.31	1.06	0.75	0.75
22	0.06	0.06	0.63	3.63	5.06	13.31
23	9.19	0.38	4.69	0.88	0.38	0.06
26	5.25	0.06	2.13	1.63	3.06	0.75
28	5.19	0.19	3.50	0.38	6.75	0.19
29	5.00	0.31	4.50	1.31	2.38	1.38
31	7.38	0.06	5.81	2.44	0.38	0.69
32	6.00	-	1.75	2.81	3.63	0.63
33	0.25	0.13	7.63	7.06	0.19	4.31
34	0.81	-	4.13	5.56	1.56	3.75
35	1.56	0.88	5.25	5.56	0.44	4.44
38	0.63	0.13	0.81	5.00	3.56	0.88
Total	95.15	3.84	93.08	52.15	44.64	35.77
%	19.03	0.77	18.62	10.43	8.93	7.15

(c) Clasificado en el área de estudio. Imagen Landsat TM del 20 de julio de 1990.

Total	AF	FR	MZ	RS	BA	TA
Total	2408.06	223.44	2224.94	1845.69	1237.06	747.13

Anejo III

Tabla III.2.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el nuevo regadío de Quinto (Zaragoza) en verano de 1990.

(a) Inventariado en los segmentos. Julio-agosto de 1990.

Segmento	AF	FR	GI	MZ	AB	RS	BA	SV	TA
1	1.65	-	6.12	-	-	14.99	-	-	-
2	3.44	-	-	5.84	-	5.91	5.23	-	-
3	5.16	-	6.05	-	-	5.91	2.13	-	1.17
4	5.64	-	-	-	-	0.76	-	4.26	10.73
5	-	-	-	0.62	-	18.98	-	3.51	-
6	11.14	-	-	0.21	-	8.59	1.51	-	-
7	5.71	-	0.55	1.24	-	9.56	-	-	2.13
8	1.65	-	-	-	-	5.16	-	15.88	-
9	-	-	-	14.99	-	4.40	-	-	3.71
10	5.78	1.10	-	2.20	-	12.86	-	-	-
11	4.81	10.45	0.34	-	-	4.61	-	0.48	-
12	0.14	-	3.44	13.41	-	5.57	-	-	-
13	15.40	0.41	-	-	2.48	4.54	-	-	-
14	1.44	-	-	6.26	-	10.52	-	-	0.89
15	14.30	-	5.23	-	-	0.41	-	-	0.69
16	-	-	-	-	-	18.91	1.31	2.20	-
17	-	-	0.14	-	-	4.54	-	-	18.36
18	9.08	-	-	-	-	7.43	-	-	4.06
19	-	-	-	3.58	15.54	3.44	-	-	-
Total	85.34	11.96	21.87	48.35	18.02	147.09	10.18	26.33	41.74
%	17.97	2.52	4.60	10.18	3.79	30.97	2.14	5.54	8.79

(b) Clasificado en los segmentos. Imagen Landsat TM de 20 de julio de 1990.

Segmento	AF	FR	GI	MZ	AB	RS	BA	SV	TA
1	1.19	0.38	0.31	-	2.69	11.75	1.56	3.81	0.94
2	2.81	0.19	0.44	4.44	0.69	3.31	8.19	0.25	0.75
3	4.44	0.63	6.38	-	2.31	5.44	1.88	0.31	2.06
4	3.94	0.06	0.50	-	1.50	0.50	2.94	6.63	3.81
5	-	-	0.75	-	1.06	17.63	2.81	0.56	1.44
6	6.00	0.44	7.38	-	2.94	6.25	0.56	0.06	-
7	4.31	0.81	3.25	1.19	4.13	2.63	0.69	2.19	1.31
8	0.38	-	-	-	1.19	1.13	-	13.94	6.69
9	-	0.06	2.88	9.88	0.31	4.25	-	1.06	2.88
10	5.50	0.38	2.94	0.44	5.06	7.56	0.13	0.06	0.13
11	3.19	9.19	2.25	0.25	1.25	1.31	0.25	0.19	0.25
12	0.06	0.31	3.50	12.56	0.38	5.31	-	-	0.13
13	14.06	1.25	1.56	-	3.88	2.44	-	-	-
14	1.13	4.75	1.81	0.75	2.81	7.25	0.31	0.13	-
15	11.94	0.13	6.25	0.19	0.44	0.06	0.25	0.06	0.94
16	0.44	-	-	-	1.38	4.00	4.56	4.88	1.00
17	-	0.06	0.06	-	1.13	7.63	0.94	0.88	12.75
18	5.81	0.38	2.88	0.31	2.25	6.19	0.38	2.25	2.13
19	1.25	0.88	0.31	3.25	10.13	4.19	0.81	1.00	1.38
Total	66.45	19.90	43.45	33.26	45.53	98.83	26.26	38.26	38.59
%	13.99	4.19	9.15	7.00	9.59	20.81	5.53	8.05	8.12

(c) Clasificado en el área de estudio. Imagen Landsat TM de 20 de julio de 1990.

	AF	FR	GI	MZ	AB	RS	BA	SV	TA
Total	283.38	112.63	49.38	134.94	398.00	930.25	119.69	199.00	249.44

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.3.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en los sectores IV al XI del regadío de Flumen (Huesca) en verano de 1990.

(a) Inventariado en los segmentos. Julio 1990.

Segmento	AF	AR	GI	MZ	RS	TA
693	-	-	-	2.69	8.34	4.48
696	-	-	-	-	22.01	1.27
697	-	-	3.39	-	12.35	2.78
700	2.36	-	1.13	3.44	3.49	2.69
711	1.13	19.46	-	0.80	1.98	1.93
718	-	23.18	-	-	0.52	-
721	1.93	-	1.23	14.14	6.13	-
729	2.97	19.60	-	-	3.44	-
747	0.47	-	12.35	8.15	2.36	-
751	1.74	0.71	-	0.24	16.87	3.91
755	-	2.87	-	0.05	15.83	-
758	6.69	3.53	2.64	5.70	3.25	1.88
762	-	13.05	1.70	-	8.81	1.08
781	7.35	-	-	1.46	5.42	-
794	2.59	-	1.23	13.66	3.16	0.33
796	2.07	2.78	2.21	-	-	13.48
797	-	12.86	-	-	-	2.69
814	-	0.33	2.36	1.70	15.55	0.94
815	0.99	2.83	-	0.61	13.24	-
817	-	7.87	-	-	-	3.11
818	0.33	-	-	1.88	6.55	-
826	-	5.94	-	0.33	7.59	3.77
827	12.91	-	-	0.28	-	0.47
837	-	-	-	1.37	5.23	0.38
841	9.61	-	9.61	-	-	1.27
847	-	-	0.38	-	10.60	-
Total	53.14	115.01	38.23	56.50	172.72	46.46
%	8.18	17.69	5.88	8.69	26.57	7.15

Anejo III

Tabla III.3.- Continuación.

(b) Clasificado en los segmentos. Imagen Landsat TM del 20 de julio de 1990.

Segmento	AF	AR	GI	MZ	RS	TA
693	-	0.52	-	0.80	9.28	4.85
696	-	-	-	-	20.03	3.49
697	-	-	-	-	12.91	4.66
700	1.74	2.78	0.57	4.24	4.95	2.36
711	0.75	11.73	-	1.84	0.57	0.66
718	0.19	13.76	0.24	2.64	0.38	0.24
721	1.23	2.97	-	10.37	4.57	0.05
729	2.12	13.43	0.14	1.70	2.73	-
747	0.33	0.24	3.72	5.09	2.92	0.85
751	0.05	0.09	0.09	0.05	16.02	2.92
755	2.21	1.70	0.09	0.57	16.02	-
758	6.22	2.17	2.21	0.71	2.31	0.85
762	0.05	6.79	0.90	2.64	3.68	3.35
781	5.98	0.28	0.57	0.14	5.42	3.86
794	1.98	2.59	0.38	7.96	1.79	0.05
796	1.37	1.74	1.32	0.19	0.52	6.31
797	-	7.87	0.42	1.18	0.28	5.37
814	-	-	-	-	5.84	10.74
815	0.24	1.79	0.24	-	7.54	2.73
817	0.66	1.79	-	0.33	0.94	4.90
818	1.65	0.57	0.85	1.46	4.38	0.75
826	0.19	2.50	0.05	2.87	4.99	4.90
827	6.74	0.28	1.46	0.52	0.52	5.37
837	0.05	0.66	-	0.80	7.77	0.71
841	4.43	0.05	1.18	0.42	0.94	1.37
847	0.61	0.33	0.94	0.85	11.21	1.08
Total	38.79	76.63	15.37	47.37	148.51	72.42
%	5.97	11.79	2.36	7.29	22.85	11.14

(c) Clasificado en el área de estudio. Imagen Landsat TM del 20 de julio de 1990.

	AR	AF	GI	MZ	RS	TA
Total	2042.12	1420.32	663.8	1568.56	5441.72	2697.32

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.4.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en los sectores IV al XI del regadío de Flumen (Huesca) en 1991.

(a) Inventariado en los segmentos. Junio-Julio de 1991.

Segmento	Superficie Segmento	AF	AR	CB	GI	MZ	FO	TR	SO	BC	MB	RP	SV	TA
679	27.91	-	-	14.66	-	-	-	0.25	-	-	-	-	6.61	4.23
681	24.42	1.00	-	7.57	9.64	3.96	-	-	-	-	-	-	-	0.94
693	27.16	-	-	13.15	-	2.95	-	3.23	-	-	4.58	0.62	2.11	0.53
696	33.54	-	-	21.18	-	-	-	-	-	-	-	-	7.77	4.73
697	30.30	0.35	-	1.75	-	-	-	4.87	-	-	-	1.46	1.56	15.30
700	28.99	2.70	-	3.59	1.46	4.51	10.58	4.84	-	-	-	-	-	-
711	38.40	-	26.42	1.71	-	1.59	-	5.20	-	-	-	-	-	1.00
718	30.48	-	17.27	-	-	0.51	-	0.81	-	-	-	0.33	0.80	9.33
729	27.43	3.48	21.64	-	-	0.24	0.67	-	-	-	-	-	0.33	-
732	28.56	0.77	-	0.83	-	11.83	3.98	4.21	-	-	-	-	0.61	2.23
747	26.31	0.68	-	4.95	13.13	-	2.49	4.32	-	0.33	-	-	-	0.07
751	28.13	0.68	0.58	11.93	-	-	-	11.11	-	-	-	-	1.48	0.13
755	29.73	5.20	3.41	-	-	-	7.82	13.16	-	-	-	-	-	-
758	27.32	12.72	2.70	2.52	4.67	2.75	-	-	-	-	-	0.23	0.15	-
762	29.33	-	19.49	3.34	2.24	-	-	2.37	-	-	-	0.38	0.48	0.84
775	29.31	1.36	1.82	3.22	-	5.38	3.35	12.00	-	-	-	-	0.71	-
780	30.07	2.33	-	17.57	-	-	-	0.13	-	-	-	0.22	0.59	0.59
781	28.36	7.65	-	5.60	-	-	-	-	-	-	-	1.21	4.59	2.16
786	30.45	1.81	1.35	4.03	6.08	1.09	5.39	-	-	-	-	-	0.99	3.44
794	26.10	7.56	-	12.69	1.50	4.15	-	-	-	-	-	-	-	-
796	30.67	-	3.64	0.07	-	8.81	-	1.02	2.60	0.27	-	-	0.27	9.16
797	29.34	-	10.39	-	-	-	-	4.36	-	-	-	-	11.20	1.69
800	26.57	1.36	-	1.95	-	-	-	16.02	-	-	-	-	1.81	4.82
802	26.31	11.07	-	0.15	-	3.50	0.51	-	-	1.16	-	0.52	4.52	3.85
805	27.15	7.30	4.38	2.69	0.61	1.18	1.60	-	-	2.79	-	-	-	3.43
814	28.61	0.09	1.18	5.51	-	-	-	4.18	-	-	-	-	1.78	14.01
815	31.35	0.86	-	6.82	3.44	-	0.75	3.70	-	-	-	-	11.63	2.93
817	29.53	2.26	10.08	5.12	-	-	-	0.92	-	-	-	-	7.07	3.74
818	29.13	0.77	-	8.81	-	2.55	-	8.15	1.78	-	-	-	1.24	5.34
826	27.36	1.51	1.48	7.64	-	0.42	1.75	5.32	-	-	-	3.43	0.18	4.80
827	26.58	14.82	-	0.44	1.18	2.02	-	-	-	-	-	-	5.84	1.23
837	26.62	7.70	-	1.53	0.46	-	-	3.89	-	0.26	-	-	2.58	1.53
841	29.87	3.48	-	8.52	-	4.85	-	3.16	-	5.42	-	-	0.60	0.46
847	26.25	6.83	-	-	4.34	-	1.94	6.58	-	1.77	0.33	0.24	0.52	2.12
866	29.38	0.32	-	4.71	-	0.52	-	6.05	-	0.92	-	4.39	1.16	1.71
871	29.45	0.96	-	0.08	-	6.54	-	2.35	-	-	-	10.25	6.08	0.34
Total	1036.47	107.62	125.83	184.33	48.75	69.35	40.83	132.20	4.38	12.92	4.91	23.28	85.26	106.68
%		10.38	12.14	17.78	4.70	6.69	3.94	12.75	0.42	1.25	0.47	2.25	8.23	10.29

Anejo III

Tabla III.4.- Continuación

(a) Clasificado en los segmentos. Imágenes Landsat TM del 20 de mayo y 24 de agosto de 1991.

Segmento	Superficie Segmento	AFFO	AR	CB	GI	MZ	TR	BC	TASVp	TASVv
679	30.63	-	-	22.81	-	-	1.19	-	5.56	29.56
681	27.25	1.25	-	6.94	7.06	2.81	1.94	-	16.75	15.75
693	29.69	0.25	-	12.94	1.56	1.25	4.75	-	8.69	23.56
696	36.81	-	-	24.00	-	-	0.13	-	10.25	34.38
697	33.13	0.06	-	8.56	-	-	-	-	20.50	29.06
700	33.25	9.88	-	9.13	5.25	3.63	3.06	-	11.00	14.31
711	40.81	0.56	24.44	1.94	0.19	5.56	3.88	-	6.44	6.50
718	33.25	0.75	17.13	1.25	3.50	2.50	0.50	-	10.81	6.56
729	30.38	2.94	21.75	0.56	0.63	0.63	0.13	-	1.31	0.75
732	31.63	5.56	-	5.31	2.19	13.13	3.13	-	16.31	9.44
747	28.38	1.06	-	7.13	12.56	2.69	-	-	18.31	10.19
751	32.31	3.75	0.44	8.13	1.50	1.06	10.00	-	5.00	20.56
755	32.25	9.56	2.31	3.63	-	-	9.50	-	0.38	13.50
758	30.25	12.38	2.88	1.38	5.88	4.63	-	-	10.56	1.44
762	32.44	0.94	14.75	2.31	3.19	1.56	2.44	0.19	7.19	7.19
775	33.00	11.00	1.63	4.38	1.44	1.63	7.25	-	6.31	14.88
780	32.75	3.69	-	8.50	1.00	-	12.38	1.31	2.69	22.56
781	31.00	7.94	-	3.81	1.56	0.03	6.00	-	8.69	16.88
786	33.06	3.50	1.38	5.06	8.94	2.75	0.69	-	19.19	13.25
794	29.13	11.94	-	0.94	1.94	4.44	9.56	-	6.69	10.81
796	33.31	0.81	4.56	0.69	4.75	10.13	0.44	0.88	21.25	7.50
797	31.56	0.88	10.56	0.75	3.38	0.44	0.50	-	13.06	10.50
800	29.94	1.75	-	5.00	1.19	-	14.06	-	5.88	23.75
802	28.88	10.06	-	2.88	3.75	4.38	0.25	0.31	12.43	7.44
805	29.75	8.06	1.88	4.75	4.25	0.88	0.25	0.06	11.50	11.38
814	31.63	0.19	-	10.25	3.31	-	0.63	-	18.25	25.81
815	35.31	3.00	-	4.25	8.00	1.69	1.75	0.75	22.06	18.38
817	32.38	1.88	5.69	2.69	6.50	1.81	2.38	-	12.63	9.38
818	31.63	5.44	-	6.19	3.38	1.44	9.88	-	8.94	20.19
826	30.31	2.88	1.31	10.75	3.69	0.69	3.94	-	9.43	19.75
827	28.75	11.94	-	2.81	3.94	0.25	0.44	-	12.44	11.50
837	28.81	12.31	-	1.38	3.50	0.31	2.56	-	8.06	8.19
841	33.06	6.44	-	6.25	1.75	6.06	3.06	0.63	9.25	10.75
847	29.06	5.88	-	4.19	5.00	2.31	1.06	0.06	12.75	10.69
866	31.81	3.25	-	12.50	6.44	0.50	-	-	12.75	18.31
871	31.00	4.63	-	1.38	2.81	6.81	-	-	22.25	14.00
Total	1138.59	166.41	110.71	215.42	124.03	86.00	117.73	4.19	405.56	528.65
%		14.62	9.72	18.92	10.89	7.55	10.34	0.37	35.62	46.43

(c) Clasificado en el área de estudio. Imágenes Landsat TM del 20 de mayo y 24 de agosto de 1991.

Total	AFFO	AR	CB	TR	GI	MZ	BC	TASVp	TASVv	AG
Total	4382.87	1939.19	5085.25	2318.12	2720.56	2202.25	137.00	8964.56	11445.13	178.69

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.5.- Superficie (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en primavera de 1993.

Segmento	AF	CB	CO	FO	FR	HF	TR	VI	BC	CH	SV	VR	NC	TA	AU	VC	VG	AG
1	-	2.32	-	1.28	-	-	0.32	-	0.55	-	1.76	-	0.25	17.22	-	-	1.30	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.94	13.91	-	-	-	0.15
3	-	5.70	-	0.49	-	-	-	-	-	4.09	-	-	2.37	12.35	-	-	-	-
4	-	3.64	-	7.63	0.43	0.10	2.76	-	-	-	4.03	-	1.57	4.34	-	0.23	0.25	-
5	6.83	3.94	-	2.80	-	-	2.25	-	-	-	0.14	0.16	3.15	4.08	1.33	0.33	-	-
6	2.55	14.55	-	1.55	-	-	-	-	-	-	2.01	-	2.67	1.62	-	-	-	0.04
7	-	8.91	-	2.63	-	-	2.40	-	-	-	0.08	-	5.12	5.42	0.06	-	0.38	-
8	8.00	3.68	-	3.21	-	-	0.10	-	-	-	3.61	-	0.81	4.66	-	0.93	-	-
9	-	2.27	-	0.99	-	0.37	0.25	-	-	-	0.39	-	0.29	18.86	0.63	0.20	0.74	-
10	1.69	5.85	-	1.87	-	-	-	-	-	-	0.12	-	9.52	4.81	1.15	-	-	-
11	5.36	4.59	-	4.56	-	-	1.13	-	-	-	0.03	-	0.58	8.05	-	-	0.72	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.27	-	-	19.73	-	-	-	-
13	8.49	0.21	-	1.26	-	-	7.42	-	-	-	2.11	-	1.02	3.69	-	-	-	0.79
14	13.36	1.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.30	-	1.04	-	-
15	-	-	5.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.18	15.00	0.35	0.23	0.82	0.21
16	8.95	0.01	-	0.76	0.19	-	4.65	-	-	-	0.60	2.38	0.15	7.31	-	-	-	-
17	12.85	-	-	-	-	-	0.93	-	-	1.36	-	-	6.43	2.21	-	-	1.22	-
18	0.76	0.56	-	5.60	-	-	3.49	-	-	-	-	-	-	14.58	-	-	-	-
19	10.95	-	-	0.83	-	-	-	-	-	-	0.11	-	3.06	8.61	0.59	0.38	-	0.46
20	3.15	0.01	-	2.53	-	-	1.73	-	-	-	8.25	-	0.38	8.04	-	-	0.91	-
21	3.15	14.35	-	0.78	-	0.85	-	-	-	-	3.47	-	0.27	1.46	0.34	-	0.21	0.12
22	1.08	4.11	-	5.64	-	-	0.54	-	2.85	-	-	-	7.17	2.94	-	0.66	-	-
23	0.28	21.26	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.19	-	0.07	1.98	-	1.10	-	-
24	-	0.81	-	2.57	-	-	0.01	-	-	-	1.35	-	-	20.27	-	-	-	-
25	12.86	1.63	-	0.61	-	-	1.21	-	-	-	0.93	-	-	5.83	-	1.93	-	-

Tabla III.5.- Continuación

Segmento	AF	CB	CO	FO	FR	HF	TR	VI	BC	CH	SV	VR	NC	TA	AU	VC	VG	AG
26	8.77	2.26	-	1.85	0.01	-	-	-	-	-	0.61	-	4.55	6.59	-	-	0.36	-
27	5.80	1.36	-	7.03	-	-	0.16	-	-	-	0.16	-	0.46	5.29	0.55	2.95	0.28	0.95
28	-	8.10	-	0.10	-	-	4.68	-	-	-	2.56	-	1.24	8.32	-	-	-	-
29	2.11	9.98	-	2.20	0.43	-	1.77	-	-	-	0.61	-	0.18	5.76	0.11	1.83	-	0.03
30	-	1.05	-	0.09	-	-	-	-	-	-	3.00	-	8.26	11.26	-	0.23	1.11	-
31	6.14	3.40	-	3.27	-	0.05	3.57	-	-	-	1.11	-	1.51	5.00	-	0.94	-	-
32	2.41	9.79	-	5.48	-	-	2.23	-	-	-	4.20	-	0.25	0.65	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.94	0.34	14.65	8.08	-	-	-	-
34	12.96	2.43	-	-	-	-	2.79	-	-	-	-	-	0.06	6.16	-	-	0.60	-
35	2.47	5.63	-	1.50	-	-	-	1.17	-	-	3.18	-	0.56	9.57	-	-	0.93	-
36	5.86	-	-	6.99	-	-	-	-	-	-	4.78	-	0.11	6.86	-	0.40	-	-
37	6.03	2.09	-	1.67	-	-	3.99	-	-	0.47	-	-	3.52	6.95	0.10	0.19	-	-
38	-	11.24	-	0.62	-	-	-	-	2.18	-	7.99	-	2.98	-	-	-	-	-
39	2.25	7.29	-	-	-	-	2.19	-	-	-	2.37	-	5.18	3.68	0.49	-	-	-
40	4.55	0.24	0.22	1.47	0.42	-	-	0.51	-	-	0.43	-	4.90	11.64	0.63	-	-	-
41	2.74	-	-	1.69	-	-	6.36	-	-	0.49	1.47	0.35	3.71	8.18	-	-	-	-
42	6.82	4.81	-	0.64	0.24	-	9.58	-	-	-	0.03	-	1.17	-	1.09	-	0.62	-
43	2.58	2.58	-	0.49	-	-	0.10	-	13.56	-	-	-	0.82	4.87	-	-	-	-
44	1.62	0.37	-	1.42	-	-	2.60	0.43	-	0.30	11.15	-	0.88	6.23	-	-	-	-
Total	173.42	172.33	5.43	84.10	2.90	1.73	69.21	2.11	19.26	6.71	80.04	3.23	113.99	331.36	7.42	13.57	10.45	2.75
%	15.77	15.67	0.49	7.65	0.26	0.16	6.29	0.19	1.75	0.61	7.28	0.29	10.36	30.12	0.67	1.23	0.95	0.25

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.5.- Continuación

(b) Clasificado en los segmentos. Imágenes Landsat TM del 3 de marzo y 12 de julio de 1993.

Segmento	AFFO	CB	TR	BC	TANCSV
1	2.38	2.38	-	-	18.81
2	0.18	-	0.06	-	24.56
3	1.31	10.06	-	-	13.38
4	4.63	5.12	0.50	0.06	9.44
5	7.06	5.06	0.69	-	10.06
6	2.50	17.12	-	0.12	2.94
7	2.06	11.94	0.06	-	8.63
8	9.75	5.56	0.06	0.88	7.94
9	6.75	1.38	0.06	-	13.50
10	2.44	13.56	0.94	-	5.26
11	1.69	6.19	-	-	8.88
12	0.19	-	0.31	-	24.50
13	6.50	4.31	3.94	0.50	8.44
14	16.12	2.38	-	-	6.00
15	0.12	-	-	-	17.44
16	12.25	3.69	1.62	-	4.25
17	7.56	2.00	-	-	14.44
18	10.75	0.50	3.38	-	9.56
19	14.31	1.31	0.12	-	8.94
20	5.19	0.12	0.06	-	11.62
21	1.88	12.12	-	-	8.75
22	6.81	3.25	-	6.88	10.81
23	0.31	20.81	0.12	-	2.94
24	0.88	0.62	-	-	19.38
25	7.37	1.75	-	-	10.18
26	8.62	1.75	0.19	-	13.12
27	7.19	3.62	0.38	-	8.50
28	1.62	12.12	0.44	0.12	9.88
29	7.06	8.88	-	-	8.00
30	-	0.69	-	-	19.88
31	8.75	1.56	3.62	-	10.56
32	3.75	11.31	3.81	-	5.44
33	0.50	0.25	-	-	23.75
34	14.94	4.94	0.06	-	4.62
35	5.00	2.94	0.44	0.56	15.56
36	6.00	1.25	-	-	11.06
37	4.25	2.19	1.50	-	15.50
38	-	5.69	5.62	3.19	15.25
39	3.88	7.31	2.37	-	9.19
40	7.06	1.00	0.12	-	15.19
41	6.31	5.62	1.94	-	10.25
42	6.62	4.56	8.69	-	0.56
43	0.75	1.50	0.19	10.56	10.81
44	3.75	0.50	4.34	3.75	17.75
Total	227.04	208.91	45.63	26.62	505.52
%	20.64	18.99	4.15	2.42	45.96

(c) Clasificado en el área de estudio. Imágenes Landsat TM del 3 de marzo y 12 de julio de 1993.

Total	AFFO	CB	TR	BC	TANCSV
	7057.69	6124.31	974.94	601.31	15515.06

Anejo III

Tabla III.6.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en verano de 1993.

(a) Inventariado en los segmentos. Junio 1993.

Segmento	AF	AR	CO	FO	FR	GI	HF	MZ	VI	BC	CH	SV	VR	NC	TA	AU	VC	VCAG	AG
1	-	-	-	1.28	-	17.22	-	-	-	0.55	-	1.76	-	0.25	2.64	-	-	1.30	-
2	-	12.89	-	-	-	1.02	-	-	-	-	-	-	-	10.94	-	-	-	-	0.15
3	-	-	-	-	-	10.04	0.15	1.73	-	-	4.09	-	-	2.37	6.62	-	-	-	-
4	-	0.72	-	2.38	0.43	6.96	0.10	-	-	-	-	4.03	-	2.40	7.48	-	0.23	0.25	-
5	6.83	-	-	-	-	6.11	-	-	-	-	1.60	0.14	0.16	0.77	7.73	1.33	0.33	-	-
6	2.55	-	-	-	-	0.27	-	-	-	-	-	1.99	-	4.11	16.05	-	-	-	0.04
7	2.44	0.65	-	-	-	2.50	-	-	-	-	-	0.08	-	5.70	13.20	0.06	-	0.38	-
8	11.21	0.19	-	-	-	4.44	-	-	-	-	-	3.61	-	0.81	3.78	-	0.45	0.52	-
9	5.07	11.00	-	-	-	1.92	0.37	-	-	-	-	0.39	-	0.24	4.45	0.63	0.20	0.74	-
10	1.69	-	-	-	-	5.41	-	-	-	-	-	0.12	-	10.79	5.85	1.15	-	-	-
11	5.36	6.74	-	-	-	2.22	-	-	-	-	-	0.03	-	3.39	6.55	-	-	0.72	-
12	-	19.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.25	-	-	-	-	-	-	-
13	8.49	-	-	-	-	3.69	-	-	-	-	-	2.12	-	-	9.91	-	-	0.79	-
14	13.36	-	-	-	-	5.70	-	3.59	-	-	-	-	-	-	1.31	-	1.04	-	-
15	-	16.73	-	-	-	2.24	-	-	-	-	-	-	-	4.42	-	0.35	0.23	0.81	0.21
16	8.95	-	-	-	0.19	2.97	-	4.76	-	-	-	0.60	2.38	0.49	4.66	-	-	-	-
17	12.39	0.87	-	-	-	1.80	-	-	-	-	1.36	-	-	6.43	0.93	-	-	1.22	-
18	6.37	-	-	-	-	13.67	-	1.48	-	-	-	-	-	-	3.49	-	-	-	-
19	10.95	-	-	0.83	-	7.73	-	-	-	-	-	0.11	-	3.94	-	0.59	0.38	-	0.46
20	3.15	6.17	-	2.53	-	1.83	-	-	-	-	-	8.25	-	0.38	1.77	-	-	0.91	-
21	3.84	-	-	-	-	1.46	0.95	-	-	-	-	3.47	0.12	0.27	14.35	0.34	-	0.21	-
22	7.89	1.13	-	-	-	7.56	-	-	-	2.85	-	-	-	0.16	4.75	-	0.66	-	-
23	0.29	-	-	-	-	0.75	-	1.24	-	0.12	-	0.19	-	0.07	21.25	-	1.10	-	-
24	-	7.74	-	1.26	-	-	-	-	-	-	-	1.28	-	-	14.72	-	-	-	-
25	12.88	4.17	-	0.61	-	0.44	-	1.20	-	-	-	0.93	-	-	2.84	-	1.93	-	-

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.6.- Continuación

(a) Inventariado en los segmentos (continuación)		AF	AR	CO	FO	FR	GI	HF	MZ	VI	BC	CH	SV	VR	NC	TA	AU	VC	VCAG	AG
26	8.44	-	-	-	0.01	5.51	-	-	-	-	-	-	0.61	-	3.19	6.87	-	-	0.37	-
27	4.20	-	-	0.97	-	6.23	-	4.44	-	-	-	-	0.16	-	0.86	3.40	0.55	2.94	0.28	0.95
28	-	-	-	0.10	-	1.27	-	-	-	-	-	-	2.56	-	8.29	12.78	-	-	-	-
29	3.91	-	-	0.73	0.43	5.04	-	0.95	-	-	-	-	0.61	-	0.56	10.80	0.11	1.83	-	0.03
30	-	2.53	-	0.10	-	4.90	-	-	-	-	-	-	3.00	-	8.26	4.87	-	1.34	-	-
31	6.20	-	-	3.09	-	3.39	0.05	0.29	-	-	-	-	1.11	-	2.95	6.98	-	0.94	-	-
32	2.41	-	-	-	-	1.76	-	-	-	-	-	-	4.20	0.34	8.11	8.53	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	8.08	-	-	-	-	-	-	1.94	14.65	-	-	-	-	-	-
34	12.38	-	-	-	-	6.27	-	0.47	-	-	-	-	-	0.06	5.22	-	-	-	0.60	-
35	4.02	-	-	0.50	-	7.76	-	-	1.17	-	-	-	3.18	-	1.70	5.74	-	-	0.93	-
36	5.86	6.73	-	1.58	-	4.46	-	0.13	-	-	-	-	4.38	-	0.21	1.25	-	0.40	-	-
37	7.78	-	-	-	-	6.95	-	-	-	-	-	0.48	-	-	3.52	5.99	0.10	0.19	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.18	-	7.99	-	2.98	11.86	-	-	-	-
39	2.25	-	-	-	1.18	1.33	0.36	0.87	-	-	-	-	2.37	-	6.66	9.48	0.49	-	-	-
40	4.55	-	0.22	1.47	0.42	9.39	-	0.88	0.51	-	-	-	0.43	-	4.90	1.61	0.63	-	-	-
41	3.88	-	-	-	-	2.31	0.08	2.43	-	-	-	0.50	1.47	0.35	4.84	9.15	-	-	-	-
42	6.82	-	-	-	0.24	1.01	-	-	-	-	-	-	0.03	-	0.80	14.39	1.09	-	0.62	-
43	2.58	-	-	-	-	5.69	-	-	-	-	13.56	-	-	-	-	3.18	-	-	-	-
44	6.79	-	-	1.42	-	-	-	0.97	0.43	-	0.30	11.15	-	0.89	3.05	-	-	-	-	-
Total	205.78	98.01	0.22	18.85	2.90	189.30	2.06	25.43	2.11	19.26	8.33	79.54	3.35	131.36	279.48	7.42	12.85	11.99	1.84	1.84
%	18.71	8.91	0.02	1.71	0.26	17.21	0.19	2.31	0.19	1.75	0.76	7.23	0.30	111.94	25.41	0.67	1.17	1.09	0.17	0.17

Anejo III

Tabla III.6.- Continuación

(b) Clasificado en los segmentos. Imágenes Landsat TM del 3 de marzo y 12 de julio de 1993.

Segmento	AFFO	AR	GI	MZ	BC	TANCSV
1	2.31	0.94	14.56	-	-	7.19
2	-	11.44	0.75	-	-	11.06
3	0.50	-	7.00	0.38	0.12	17.00
4	1.44	0.88	6.44	-	-	15.25
5	5.00	0.12	8.38	0.56	-	10.81
6	2.62	-	1.00	-	-	21.38
7	1.12	-	2.50	-	-	21.38
8	9.25	0.56	5.69	-	0.31	9.19
9	5.56	12.38	3.75	-	-	3.31
10	2.38	-	0.94	-	-	21.69
11	1.44	8.75	2.88	-	-	11.94
12	-	21.56	0.25	-	-	3.19
13	4.75	0.06	5.19	-	-	15.00
14	15.94	0.31	3.12	2.50	-	3.12
15	0.13	15.00	1.88	-	-	8.00
16	9.88	0.25	4.62	2.25	-	6.00
17	6.38	0.81	1.56	0.38	-	15.88
18	9.50	-	11.19	0.56	-	3.75
19	13.12	-	3.88	0.06	-	7.94
20	5.69	8.19	3.69	0.06	0.44	6.94
21	1.56	0.31	1.81	-	-	21.13
22	5.06	1.00	6.88	-	0.94	11.12
23	0.06	-	0.94	0.19	-	23.81
24	1.44	8.00	1.62	-	-	13.94
25	8.13	6.00	1.69	-	0.06	9.13
26	8.44	0.88	5.88	-	0.31	9.50
27	5.13	0.19	3.75	1.25	0.31	14.38
28	0.12	0.25	0.81	-	-	23.81
29	5.56	-	3.81	-	-	14.81
30	-	2.50	5.31	-	-	17.19
31	7.56	-	2.19	-	0.13	15.13
32	2.13	-	0.88	-	-	22.00
33	0.06	1.50	6.81	0.13	-	16.00
34	13.75	0.25	4.69	-	-	6.31
35	2.06	0.25	6.44	0.56	1.56	13.81
36	6.31	7.50	1.13	-	0.06	10.00
37	3.63	0.44	9.38	0.13	-	11.44
38	-	-	-	-	2.88	22.12
39	1.62	-	2.25	0.13	-	19.19
40	6.25	3.88	5.81	-	-	7.81
41	2.81	0.06	4.88	0.88	-	15.44
42	6.56	-	1.00	-	-	13.69
43	0.38	0.31	1.25	-	12.94	10.12
44	3.38	0.75	2.81	1.13	-	15.81
Total	189.01	115.32	171.29	11.15	20.06	567.71
%	17.18	10.48	15.57	1.01	1.82	51.61

(c) Clasificado en el área de estudio. Imágenes Landsat TM del 3 de marzo y 12 de julio de 1993.

Total	AFFO	AR	GI	MZ	BC	TANCSV
Total	5975.62	3093.50	4163.81	214.94	688.56	16406.10

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.7.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en primavera de 1994.

(a) Inventariado en los segmentos. Mayo-Junio 1994.

Segmento	AF	AR	AV	CB	FO	FR	GI	HF	MZ	TR	BC	CH	SV	NC	TA	AU	VC	AG	RP
1	-	-	-	4.35	1.47	-	-	-	-	15.01	-	-	2.87	-	0.40	-	-	0.90	-
2	-	23.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.02	-	0.76	0.09	-
3	0.04	-	-	1.49	-	-	8.06	-	3.64	4.64	-	4.11	0.21	0.28	2.48	-	-	-	-
4	-	0.08	-	4.03	2.44	0.44	1.86	0.15	2.24	5.03	-	-	4.22	1.64	2.51	-	0.24	-	0.12
5	7.12	-	-	4.02	-	-	-	-	3.39	5.20	-	1.73	0.47	1.30	-	1.37	-	0.41	-
6	2.57	-	-	14.06	-	-	1.76	-	-	-	-	-	4.70	1.40	0.10	-	0.42	-	-
7	2.56	0.21	-	4.03	-	-	12.67	-	-	0.43	-	-	-	1.14	3.98	-	-	-	-
8	10.31	0.34	-	3.66	-	-	-	-	4.72	-	-	-	3.86	1.32	-	-	0.90	-	-
9	-	13.57	-	-	-	-	6.59	0.35	0.97	1.09	-	-	0.72	0.43	-	0.48	0.81	-	-
10	1.60	-	-	2.36	-	-	1.92	-	2.31	9.64	-	-	0.18	4.50	0.93	1.10	0.49	-	-
11	4.62	10.44	-	2.83	-	-	-	-	0.61	-	-	-	0.04	2.32	3.10	-	0.71	0.33	-
12	-	19.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.03	0.26	-	1.67	-	-
13	8.59	-	-	0.21	-	0.85	0.29	-	1.67	4.52	-	-	2.35	0.80	4.58	-	0.84	-	-
14	16.54	-	-	-	-	-	-	-	3.85	3.01	-	-	-	-	-	-	0.94	0.19	-
15	-	19.90	-	-	-	-	0.14	-	-	-	-	-	0.13	0.30	0.86	2.51	1.23	-	-
16	14.79	-	-	-	-	0.17	3.13	-	1.42	0.48	-	-	1.76	-	1.64	-	-	1.61	-
17	11.98	-	-	-	-	-	0.90	-	0.52	2.14	-	-	0.50	1.27	6.77	-	0.75	-	-
18	5.47	-	-	-	-	-	-	-	5.51	14.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	8.09	-	-	1.27	-	-	0.20	-	4.90	1.80	-	-	2.03	2.74	1.97	0.52	1.06	0.40	-
20	3.16	6.29	-	0.03	-	-	0.98	-	-	-	-	-	8.24	0.01	4.84	-	1.46	-	-
21	9.83	-	-	3.61	0.78	-	1.91	0.70	-	0.05	-	-	2.86	0.77	2.14	0.58	1.19	0.46	-
22	4.51	0.81	2.09	3.43	4.12	-	2.03	-	-	1.14	2.63	-	1.05	-	2.64	0.16	0.40	-	-
23	0.08	-	-	11.80	-	-	-	-	6.95	4.95	-	-	0.29	-	-	-	0.93	-	-
24	0.58	7.44	-	4.79	-	-	0.78	-	-	-	-	-	0.34	-	9.98	0.72	0.36	-	-
25	5.54	1.86	-	0.89	0.70	-	2.57	-	2.35	6.82	-	-	0.43	0.82	1.55	-	1.50	-	-

Tabla III.7.- Continuación

Segmento	AF	AR	AV	CB	FO	FR	GI	HF	MZ	TR	BC	CH	SV	NC	TA	AU	VC	AG	RP
26	8.81	1.11	-	0.62	-	-	-	-	1.67	3.72	-	-	3.57	4.31	-	-	0.42	0.75	-
27	4.09	-	-	3.88	1.09	-	1.25	-	2.53	0.68	-	-	0.84	0.38	6.44	0.52	2.61	0.71	-
28	-	-	-	3.17	-	-	-	-	1.97	4.93	-	-	1.16	12.22	0.25	-	1.02	-	-
29	4.23	0.94	-	5.02	-	-	1.93	0.40	2.75	2.25	-	-	0.26	2.61	1.86	-	2.30	0.05	-
30	-	5.99	-	7.16	0.14	-	-	-	-	-	-	-	3.99	4.29	2.44	-	1.00	-	-
31	3.25	0.87	-	5.16	5.93	-	-	-	0.04	4.17	-	-	0.45	4.20	0.45	-	0.45	-	-
32	8.72	-	-	4.40	3.62	-	0.09	-	-	2.18	-	-	3.41	0.44	1.69	-	0.46	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	8.31	-	-	-	0.34	-	16.01	-	0.35	-	-
34	8.40	-	-	-	0.11	-	2.77	-	4.50	5.61	-	-	-	1.09	1.88	-	0.66	-	-
35	3.21	-	-	2.12	0.44	0.43	5.52	-	-	3.03	-	-	3.30	4.50	-	0.50	1.96	-	-
36	-	7.80	-	-	4.11	-	0.25	-	3.79	4.90	-	-	1.15	1.26	1.30	0.03	0.41	-	-
37	7.19	-	-	1.02	-	-	7.63	-	0.41	6.76	-	0.43	0.17	0.22	-	0.04	1.12	-	-
38	-	-	-	1.83	-	-	0.80	-	2.86	0.42	2.16	-	7.74	9.00	-	-	0.20	-	-
39	2.27	-	-	2.52	-	0.58	6.82	1.71	1.78	1.75	-	-	1.92	2.73	2.11	0.37	0.45	-	-
40	3.25	-	-	5.28	2.90	1.09	-	0.06	1.27	-	-	-	0.13	8.93	0.95	0.80	0.36	-	-
41	1.81	-	-	-	-	0.03	1.56	0.08	6.94	7.97	-	1.96	0.37	4.21	0.08	-	-	-	-
42	5.48	-	-	0.66	0.23	-	2.52	0.05	-	9.13	-	-	0.67	4.44	-	1.07	0.77	-	-
43	1.81	-	-	0.12	-	-	2.33	3.08	-	3.10	13.58	-	-	0.96	-	-	0.04	-	-
44	5.25	-	-	2.73	-	-	-	0.47	2.22	0.71	-	0.64	2.14	9.35	0.64	-	-	0.81	-
Total	185.75	119.82	2.09	112.55	28.08	3.59	79.26	7.05	86.09	141.31	18.37	8.87	68.86	100.21	87.85	10.77	31.24	6.71	0.12
%	16.89	10.89	0.19	10.23	2.55	0.33	7.21	0.64	7.83	12.85	1.67	0.81	6.26	9.11	7.99	0.98	2.84	0.61	0.01

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.7.- Continuación

(b) Clasificado en los segmentos. Imágenes Landsat TM del 28 de mayo y 29 de junio de 1994.

Segmento	AFFO	AR	CB	TR	CH	BC	TANCSV
1	1.63	-	0.56	19.19	-	-	3.63
2	-	24.56	-	-	-	-	-
3	0.19	-	1.44	2.75	-	-	20.63
4	2.44	0.06	5.00	3.31	-	0.31	13.81
5	9.06	-	1.88	6.06	-	0.38	6.75
6	2.44	-	14.50	0.13	-	0.63	6.00
7	2.00	-	2.19	0.13	-	-	20.69
8	9.25	-	4.56	0.19	-	2.69	8.31
9	0.38	15.19	-	0.81	-	-	7.75
10	2.25	-	4.69	7.19	-	-	10.63
11	3.00	11.38	-	0.19	-	-	9.13
12	-	21.25	-	-	-	-	3.44
13	5.19	-	0.31	4.19	-	1.31	13.94
14	18.31	-	-	1.31	-	-	4.94
15	-	18.06	-	-	-	-	1.88
16	15.63	-	-	0.44	-	-	8.50
17	12.19	-	-	0.69	0.38	-	5.06
18	4.56	-	-	12.56	-	-	7.00
19	8.38	-	-	2.38	-	0.06	14.13
20	4.88	6.88	-	0.06	-	-	10.06
21	1.88	-	1.31	0.56	-	-	19.88
22	5.06	0.75	0.06	3.06	-	1.44	12.69
23	0.88	-	0.19	6.88	-	-	16.44
24	1.13	6.06	0.06	0.06	-	-	16.81
25	1.81	2.13	0.31	5.94	-	-	13.38
26	9.50	0.56	0.06	4.63	-	0.06	10.00
27	6.44	-	2.00	0.75	-	0.38	14.06
28	0.13	-	1.50	5.94	-	0.13	17.06
29	2.19	1.19	0.06	4.06	-	-	15.88
30	-	9.00	-	0.69	-	-	12.31
31	7.81	0.06	0.19	9.75	-	-	5.94
32	10.31	-	0.94	2.50	-	-	9.44
33	-	-	-	0.19	-	-	24.44
34	7.13	-	0.19	5.81	-	-	11.69
35	3.38	-	0.63	5.56	-	0.44	15.00
36	0.19	6.19	0.44	4.13	-	-	12.50
37	8.50	-	-	7.31	-	-	9.13
38	-	-	0.13	1.69	-	2.38	20.81
39	5.31	-	0.25	3.94	-	-	14.06
40	7.31	-	0.06	6.19	-	-	11.44
41	3.06	-	0.06	7.81	0.06	-	13.19
42	6.13	-	0.69	12.50	-	-	5.69
43	3.06	-	1.13	3.44	-	10.88	5.75
44	5.63	-	7.19	4.06	-	0.31	7.38
Total	198.62	123.32	52.58	169.03	0.44	21.40	491.25
%	18.06	11.21	4.78	15.37	0.04	1.95	44.66

(c) Clasificado en el área de estudio. Imágenes Landsat TM del 28 de mayo y 29 de junio de 1994.

Total	AFFO	AR	CB	TR	CH	BC	TANCSV
	6373.81	3268.62	1629.81	4153.12	2.31	750	15062.1

Anejo III

Tabla III.8.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en el regadío de Flumen (Huesca) en verano de 1994.

(a) Inventariado en los segmentos. Julio 1994.

Segmento	AF	AR	AV	CB	FO	FR	GI	HF	MZ	SO	TR	BC	CH	SV	NC	TA	AU	VC	AG
1	-	-	-	4.33	1.47	-	-	-	-	-	15.01	-	-	2.87	-	0.40	-	-	0.90
2	-	23.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.02	-	0.76	0.10
3	0.04	-	-	-	-	-	8.06	-	3.64	-	-	-	4.11	0.21	0.28	8.62	-	-	-
4	-	0.08	-	-	2.44	0.44	2.00	0.15	2.23	-	0.44	-	-	4.21	1.70	10.99	-	0.24	-
5	7.12	-	-	4.02	-	-	-	-	3.39	-	5.20	-	1.73	0.47	1.30	-	1.37	-	0.41
6	2.57	-	-	14.06	-	-	1.76	-	-	-	-	-	-	4.70	1.40	0.10	-	0.42	-
7	2.56	0.21	-	4.03	-	-	12.67	-	-	-	0.43	-	-	-	1.14	3.96	-	-	-
8	10.31	0.13	-	3.66	-	-	-	-	4.72	-	-	-	-	3.86	1.32	0.11	-	0.90	-
9	-	13.57	-	-	-	-	6.59	0.35	0.97	-	1.09	-	-	0.72	0.43	-	0.48	0.81	-
10	1.60	-	-	-	-	-	1.92	-	2.31	-	-	-	-	0.18	3.47	13.96	1.09	0.49	-
11	4.61	10.44	-	2.76	-	-	-	-	0.61	-	-	-	-	0.04	2.32	3.17	-	0.71	0.33
12	-	19.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.03	0.26	-	1.67	-
13	8.59	-	-	-	-	0.85	0.24	-	1.67	-	-	-	-	2.64	0.80	9.38	-	0.84	-
14	16.54	-	-	-	-	-	-	-	3.84	-	3.49	-	-	-	-	-	-	0.94	0.19
15	-	19.88	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	0.13	0.30	-	2.51	1.19	-
16	14.79	-	-	-	-	0.17	3.13	-	1.42	-	0.48	-	-	1.76	-	1.64	-	-	1.61
17	11.98	-	-	-	-	-	0.90	-	0.52	-	2.30	-	-	0.50	1.27	6.77	-	0.75	-
18	5.44	-	-	-	-	-	-	-	5.51	-	14.05	-	-	-	-	-	-	-	-
19	7.71	-	-	-	-	-	0.20	-	8.09	-	-	-	-	2.03	0.89	4.12	0.52	1.06	0.40
20	3.16	6.29	-	-	-	-	3.44	-	-	-	-	-	-	8.24	0.01	2.41	-	1.46	-
21	9.83	-	-	-	0.78	-	1.91	0.91	-	-	-	-	-	2.86	0.77	5.77	0.58	1.13	0.46
22	4.51	0.81	2.09	3.43	4.12	-	4.67	-	-	-	1.14	2.63	-	1.05	-	-	0.16	0.40	-
23	0.08	-	-	0.61	-	-	-	-	6.95	-	4.93	-	-	0.29	-	11.19	-	0.93	-
24	0.58	7.44	-	-	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-	0.34	-	14.78	0.72	0.36	-
25	5.54	1.86	-	0.89	0.70	-	2.57	-	2.35	-	6.82	-	-	0.43	0.82	1.55	-	1.50	-

Tabla III.8.- Continuación

Segmento	AF	AR	AV	CB	FO	FR	GI	HF	MZ	SO	TR	BC	CH	SV	NC	TA	AU	VC	AG
26	8.81	1.11	-	0.62	-	-	-	-	1.67	-	3.72	-	-	3.57	4.31	-	-	0.42	0.75
27	4.09	-	-	-	1.09	-	4.72	-	2.53	-	-	-	-	0.84	0.38	7.53	0.52	2.61	0.71
28	-	0.05	-	-	-	-	-	-	1.95	-	-	-	-	1.16	12.22	8.35	-	1.02	-
29	4.23	0.94	-	0.38	-	-	2.38	0.40	2.75	2.43	-	-	-	0.38	0.18	8.51	0.08	2.30	0.05
30	-	8.43	-	0.46	0.14	-	-	-	6.70	-	-	-	-	3.99	4.29	-	-	1.00	-
31	3.25	0.87	-	5.16	5.93	-	-	-	0.04	-	4.17	-	-	0.45	4.20	0.45	-	0.45	-
32	8.72	-	-	-	0.14	-	0.09	-	1.17	-	2.18	-	-	3.41	3.92	4.92	-	0.46	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	8.31	-	-	-	-	0.34	-	16.01	-	0.35	-
34	8.40	-	-	-	0.10	-	2.77	-	4.50	-	-	-	-	-	1.09	7.11	-	0.66	-
35	3.21	-	-	-	0.44	0.43	5.52	-	-	-	-	-	-	3.30	4.50	5.15	0.50	1.96	-
36	-	7.80	-	-	4.11	-	0.25	-	3.79	-	-	-	-	1.15	0.93	6.53	0.03	0.41	-
37	7.19	-	-	-	-	-	7.63	-	0.41	-	-	-	0.43	0.17	0.22	7.78	0.04	1.12	-
38	-	-	-	1.83	-	-	0.80	-	2.86	-	0.42	2.16	-	7.74	9.00	-	-	0.20	-
39	2.27	-	-	2.52	-	0.58	6.19	1.71	2.43	-	1.75	-	-	1.92	2.73	2.09	0.37	0.45	-
40	3.25	-	-	-	2.90	1.00	-	0.06	2.22	-	-	-	-	0.13	8.93	5.36	0.80	0.36	-
41	1.81	-	-	-	-	0.03	1.56	0.07	6.65	-	7.97	-	1.96	0.37	4.21	0.39	-	-	-
42	5.48	-	-	-	0.23	-	2.52	0.05	0.66	-	-	-	-	0.67	4.44	9.13	1.07	0.77	-
43	1.81	-	-	-	-	-	2.33	3.08	-	-	-	13.58	-	-	0.96	3.22	-	-	-
44	5.25	-	-	2.73	-	-	-	0.47	2.69	-	0.71	-	0.64	2.14	9.10	0.16	-	-	0.81
Total	185.33	122.08	2.09	51.49	24.59	3.50	88.60	7.25	99.55	2.43	76.30	18.37	8.87	69.26	97.86	192.89	10.84	31.10	6.72
%	16.85	11.10	0.19	4.68	2.24	0.32	8.05	0.66	9.05	0.22	6.94	1.67	0.81	6.30	8.90	17.54	0.99	2.83	0.61

Anejo III

Tabla III.8.- Continuación

(b) Clasificado en los segmentos. Imágenes Landsat TM del 28 de mayo y 29 de junio de 1994.

Segmento	AFFO	AR	GI	MZ	CH	BC	TANCSV
1	1.63	-	-	-	-	-	23.38
2	-	24.38	-	-	-	-	-
3	0.13	-	2.88	3.31	-	-	18.56
4	2.31	-	0.13	1.06	0.06	-	21.38
5	9.31	-	-	-	-	-	15.00
6	2.31	-	0.06	-	-	0.50	21.81
7	1.94	-	5.69	0.75	-	-	16.38
8	9.38	-	-	3.69	-	1.94	10.00
9	0.75	15.31	3.13	1.63	-	-	3.06
10	2.06	-	0.31	2.44	-	-	19.88
11	3.50	11.19	0.13	0.25	-	-	8.31
12	-	21.13	-	-	-	-	3.56
13	6.06	-	0.44	0.63	-	0.69	16.94
14	17.81	-	1.19	3.19	-	-	2.13
15	-	18.00	-	0.13	-	-	1.38
16	14.88	-	0.81	2.31	-	-	6.25
17	11.19	0.06	-	1.44	0.19	-	6.19
18	4.56	-	0.31	1.75	-	-	16.94
19	8.75	-	0.31	4.06	-	0.06	11.31
20	4.38	7.06	1.00	-	-	0.06	8.25
21	2.13	-	3.50	0.25	-	0.13	15.81
22	5.50	0.81	1.19	0.88	-	0.56	13.31
23	0.75	-	0.31	6.44	-	-	17.00
24	1.19	6.00	0.06	-	-	-	16.44
25	1.31	2.06	0.19	0.94	-	-	18.88
26	9.63	0.56	-	-	-	-	14.56
27	5.56	-	2.75	0.69	-	0.31	14.31
28	0.19	-	0.06	-	-	0.06	24.25
29	1.63	1.25	4.63	2.00	-	0.25	12.38
30	-	9.31	-	2.19	-	-	12.31
31	4.13	0.19	0.06	0.06	-	-	19.13
32	9.75	-	0.56	-	-	-	13.31
33	-	-	-	3.75	-	-	19.94
34	5.69	-	0.69	7.38	-	-	10.75
35	2.63	-	2.94	0.56	-	0.56	18.00
36	2.88	6.56	0.75	1.69	-	-	11.38
37	8.25	-	7.56	0.06	-	-	8.94
38	-	-	0.75	1.38	-	1.44	21.38
39	3.81	-	5.56	1.19	-	-	13.00
40	7.94	-	0.06	-	0.13	-	16.88
41	3.25	0.19	2.06	2.06	0.31	-	15.94
42	5.94	-	0.69	0.06	-	-	18.31
43	2.38	-	1.38	-	-	9.38	11.69
44	5.38	-	0.13	0.25	-	0.06	18.69
Total	190.87	124.06	52.27	58.47	0.69	16.00	607.30
%	17.35	11.28	4.75	5.32	0.06	1.45	55.21

(c) Clasificado en el área de estudio. Imágenes Landsat TM del 28 de mayo y 29 de junio de 1994.

	AFFO	AR	GI	MZ	CH	BC	TANCSV
Total	6207.44	3319.38	1477.25	1319.26	2.94	599.56	18057.78

Tabla III.9.- Superficies (ha) de cultivos y otras ocupaciones del territorio en Alfamén y La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) en 1994.

(a) Inventariado en los segmentos. Abril, 1994.

Segmento	AL	AF	CB	CE	FR	GS	HF	OL	TR	VI	VV	BC	CH	SV	VR	RP	NC	TA	AU	VC	AG	SVAU	SVAG	VCAG
1.1	1.44	-	0.20	-	13.34	0.51	0.83	-	0.03	-	-	-	0.12	0.30	-	-	5.83	1.94	0.27	-	-	-	-	0.19
1.2	-	-	-	-	9.83	6.68	-	-	1.79	0.44	-	-	-	0.31	-	-	1.69	3.31	-	0.95	-	-	-	-
1.3	0.07	-	5.75	-	-	-	-	-	2.52	3.28	-	-	-	-	-	-	4.73	4.53	4.13	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	4.84	-	-	-	-	0.72	-	-	16.89	2.56	-	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	-	-	-	0.30	-	-	-	-	18.09	-	6.28	-	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-
1.7	-	-	-	-	-	-	-	0.17	0.10	-	-	-	-	-	1.06	-	2.85	20.16	-	0.38	-	-	-	0.27
1.8	-	-	18.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.36	-	-	-	-	-	-	-
2.1	-	-	-	-	22.19	-	0.68	-	-	-	-	-	0.27	0.02	-	-	1.69	0.14	-	-	-	-	-	-
2.2	-	-	0.88	-	0.98	-	-	4.94	10.16	-	-	-	-	-	-	-	5.32	2.72	-	-	-	-	-	-
2.3	0.39	-	-	-	-	-	-	8.44	4.69	-	-	-	-	1.08	-	-	2.62	7.79	-	-	-	-	-	-
2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	24.41	-	-	0.31	-	-	0.08	-	-	-	0.11	-	-	-
2.5	-	-	-	-	2.20	-	-	8.52	10.07	-	-	-	-	0.06	-	-	4.16	-	-	-	-	-	-	-
2.7	5.70	-	15.55	-	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.78	-	-	0.90	-	-	-	-
2.8	-	-	-	-	3.77	-	-	-	4.20	4.25	-	-	-	1.13	-	-	6.48	5.19	-	-	-	-	-	-
2.9	-	-	19.90	-	1.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.71	2.58	-	-	-	-	-	-
3.1	-	2.17	-	-	18.78	-	0.11	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	2.78	-	-	1.04	-	-	-
3.2	-	-	1.28	-	-	-	-	3.29	14.30	-	-	-	-	-	-	-	2.86	3.27	-	-	-	-	-	-
3.3	-	2.32	-	0.31	16.55	-	0.21	-	-	1.09	-	-	-	-	-	-	1.14	2.76	0.18	0.44	-	-	-	-
3.4	-	-	-	-	8.86	-	-	-	6.56	-	-	-	-	-	-	-	9.49	0.09	-	-	-	-	-	-
3.5	14.81	-	3.45	-	-	6.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.66	-	-	-	-	-	-
3.6	-	-	0.69	-	-	-	-	5.20	11.48	-	-	-	-	0.73	-	-	3.89	2.27	-	-	-	-	-	0.74
3.7	-	-	-	0.25	19.40	-	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.99	0.89	-	-	-	-	-	2.18
3.8	-	-	2.52	-	-	-	-	6.24	2.45	-	-	-	-	1.62	-	-	7.27	4.93	-	-	-	-	-	-
4.1	0.35	-	-	-	1.18	-	0.17	-	-	2.41	-	-	-	17.22	-	-	0.81	-	1.31	1.56	-	-	-	-
4.2	-	-	-	-	11.64	-	-	1.26	0.97	-	-	-	-	-	-	-	5.72	3.24	2.17	-	-	-	-	-
4.3	-	-	2.54	-	-	-	-	2.24	4.79	-	-	-	-	-	-	-	15.42	-	-	-	-	-	-	-
4.4	-	-	-	-	-	-	-	0.84	-	-	-	-	-	19.05	-	-	4.11	1.00	-	-	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.6	-	-	3.98	-	6.38	-	-	1.97	10.53	0.12	-	-	-	-	-	-	2.01	-	-	-	-	-	-	-
4.8	-	-	2.37	-	10.61	-	-	5.96	-	-	-	-	-	-	-	-	4.00	0.70	0.93	0.42	-	-	-	-
4.9	-	-	-	-	-	-	-	8.90	10.76	-	-	-	-	-	-	-	0.03	2.24	3.07	-	-	-	-	-
Total	22.76	4.49	77.75	0.56	147.61	13.28	2.30	12.06	70.13	84.52	3.50	67.50	0.49	48.82	1.06	0.32	120.92	75.75	12.06	4.65	1.15	0.19	2.92	0.27
%	2.94	0.58	10.03	0.07	19.05	1.71	0.30	1.56	9.05	10.91	0.45	8.71	0.06	6.30	0.14	0.04	15.60	9.77	1.56	0.60	0.15	0.03	0.38	0.03

Resultados del inventario y de la clasificación

Anejo III

Tabla III.9.- Continuación
(a) Inventariado en los segmentos. Julio, 1994.

Segmento	AL	AF	CB	FR	FO	GI	HF	MZ	OL	TR	VI	VV	BC	CH	SV	VG	TA	NC	AU	VC	AG	SVAG	SVAU
1.1	1.44	-	0.20	13.35	-	0.83	1.84	-	0.03	-	-	-	-	0.12	0.49	-	0.43	5.13	1.14	-	-	-	-
1.2	-	-	9.83	-	2.34	-	1.79	0.44	-	1.79	0.44	-	-	-	0.31	-	7.65	1.69	-	0.95	-	-	-
1.3	0.07	-	1.75	-	-	0.38	-	2.88	4.28	-	2.88	4.28	-	-	1.34	-	6.00	8.31	-	-	-	-	-
1.4	-	-	-	-	-	-	-	2.80	-	2.80	-	-	-	-	0.77	-	15.26	6.16	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	-	-	-	-	0.30	-	0.30	-	-	17.98	-	6.28	-	7.09	0.05	-	0.38	-	-	1.06
1.7	-	-	-	-	13.07	-	-	-	2.97	0.10	-	-	-	-	-	0.27	-	6.36	-	-	-	-	-
1.8	-	-	18.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.91	0.10	0.09	-	-	0.08
2.1	-	-	-	20.37	-	0.45	1.72	-	-	4.94	10.16	-	-	0.27	-	-	2.72	5.32	-	-	-	-	-
2.2	-	-	0.88	0.98	-	-	-	-	8.44	4.69	-	-	-	-	1.08	-	7.79	2.62	-	-	-	-	-
2.3	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	-	24.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.16	-	-	-	-	-
2.5	-	-	-	2.20	-	-	0.06	8.58	-	10.07	-	-	-	-	-	-	-	2.78	-	0.90	-	-	-
2.7	5.70	-	15.55	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.8	-	-	-	3.77	-	-	-	-	4.20	4.25	-	-	-	-	1.12	-	5.19	6.47	-	-	-	-	-
2.9	-	-	19.90	1.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.58	0.71	-	-	-	-	-
3.1	-	2.17	-	18.78	1.43	-	0.11	1.36	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	1.04	-	-	-
3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.25	14.06	-	-	-	-	-	-	8.63	2.06	-	-	-	-	-
3.3	-	2.32	0.63	16.43	-	0.96	0.21	0.04	-	0.11	-	0.77	-	-	-	1.28	1.63	0.18	0.44	-	-	-	-
3.4	-	-	-	9.21	-	-	-	7.46	0.62	5.68	-	-	-	-	-	-	2.73	-	-	-	-	-	-
3.5	14.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.36	-	-	-	-	0.50	-	12.08	2.33	-	-	-	-	-
3.7	-	-	-	19.40	-	-	0.84	-	-	0.60	-	-	-	-	2.18	-	-	1.99	-	-	-	-	-
3.8	-	-	1.61	-	-	-	-	-	-	0.85	-	-	-	-	1.62	-	20.63	0.32	-	-	-	-	-
4.1	1.01	-	-	0.46	-	-	0.17	-	-	-	2.41	-	-	-	-	-	18.03	1.37	1.56	-	-	-	-
4.2	-	-	-	11.64	-	-	0.30	1.26	-	0.97	-	-	-	-	0.05	-	2.88	5.72	2.17	-	-	-	-
4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	2.24	6.90	-	-	-	-	-	-	12.00	3.86	-	-	-	-	-
4.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.05	-	0.84	5.11	-	-	-	-	-	-
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.6	-	-	-	6.38	-	-	-	-	1.97	0.09	0.12	-	-	-	-	-	14.42	2.01	-	-	-	-	-
4.8	-	-	-	10.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.03	3.91	1.03	0.42	-	-	-
4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.78	-	-	-	-	-	-	14.22	-	-	-	-	-	-
Total	23.42	4.50	59.17	145.30	1.43	16.37	2.98	12.77	12.75	30.75	83.71	3.19	67.38	0.49	34.79	0.27	153.45	108.56	5.98	4.74	1.15	1.80	0.08
%	3.02	0.58	7.64	18.75	0.18	2.11	0.38	1.65	1.64	3.97	10.80	0.41	8.69	0.06	4.49	0.03	19.80	14.01	0.77	0.61	0.15	0.23	0.01

Resultados del inventario y de la clasificación

Tabla III.9.- Continuación

(b) Clasificado en los segmentos. Imágenes Landsat TM del 28 de junio 29 de junio y 16 de agosto de 1994.

Segmento	CBr	FRr	FRs	GI	GS	MZ	TRr	VI	CRTAs	BC	SV
1.1	-	13.25	4.19	-	-	0.19	-	-	4.94	-	0.50
1.2	1.38	11.13	1.31	2.00	7.38	-	-	0.44	1.25	-	0.06
1.3	-	-	-	-	-	-	-	2.63	18.19	-	0.06
1.4	-	-	-	-	-	-	-	1.38	23.19	-	0.44
1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.81	-
1.7	-	-	0.50	15.13	-	-	-	4.44	4.63	-	-
1.8	-	-	0.06	-	-	-	-	4.94	19.94	-	0.06
2.1	-	22.56	-	-	-	1.00	-	-	0.19	-	-
2.2	-	-	-	-	-	-	-	19.75	5.25	-	-
2.3	-	-	-	-	-	-	-	5.13	19.06	-	0.75
2.4	-	-	0.13	-	-	-	-	-	-	24.63	-
2.5	-	0.69	7.69	-	-	-	-	15.69	0.88	-	-
2.7	12.31	-	6.13	-	-	-	-	1.06	4.25	-	0.13
2.8	-	-	-	-	-	-	-	14.63	10.38	-	-
2.9	21.31	1.13	-	-	-	-	-	-	1.94	-	-
3.1	-	21.81	-	-	-	2.44	-	-	-	-	-
3.2	-	-	-	-	-	-	-	20.38	4.63	-	-
3.3	-	22.38	0.44	-	-	0.19	-	-	-	-	-
3.4	-	8.50	4.19	-	-	-	-	4.94	7.38	-	-
3.5	1.25	12.13	-	-	5.13	2.81	-	-	0.19	-	-
3.6	-	-	-	-	-	-	-	16.19	8.81	-	-
3.7	-	2.38	18.94	-	-	-	-	-	1.50	-	1.06
3.8	-	-	-	-	-	-	-	4.25	18.88	-	1.88
4.1	-	-	0.13	-	-	-	-	-	13.00	-	0.25
4.2	-	9.69	4.38	-	-	1.00	-	2.19	4.25	-	-
4.3	-	-	-	-	-	-	-	16.31	8.69	-	-
4.4	-	-	-	-	-	-	-	0.31	3.63	-	2.10
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.63	-
4.6	2.94	6.06	0.19	-	-	-	12.19	0.88	1.63	-	-
4.8	-	6.75	1.56	-	-	-	4.06	2.50	7.50	-	0.06
4.9	-	-	-	-	-	-	-	14.25	10.50	-	0.25
Total	39.19	138.46	49.84	17.13	12.51	7.63	16.25	152.29	204.68	72.07	7.60
%	5.06	17.87	6.43	2.21	1.61	0.98	2.10	19.65	26.41	9.30	0.98

(c) Clasificado en el área de estudio. Imágenes Landsat TM del 28 de junio 29 de junio y 16 de agosto de 1994.

	CBr	FRr	FRs	GI	GS	MZ	TRr	VI	CRTAs	BC	SV
Total	276.75	3035.12	1315.62	101.63	38.81	163.68	81.81	3005.69	5301.56	471.00	403.00

Anejo III

Tabla III.10.- Superficies (ha) de los principales cultivos en la huerta vieja del regadío de Flumen (Huesca) obtenidas por clasificación supervisada de imágenes Landsat TM.

Cultivo	1991	1993	1994
Alfalfa y forrajeras	629	799	994
Arroz	62	252	112
Cebada	233	432	40
Girasol	259	486	192
Maíz	386	34	263
Trigo	350	107	487

Leyenda de los principales cultivos y ocupaciones inventariados y clasificados

AB	Abandonado	MZ	Maíz
AF	Alfalfa	NC	Parcelas no TA, ocupadas por adventicias, ricio, restos de rastrojo, etc.
AG	Masas de aguas	OL	Olivar
AL	Almendro	RP	Roquedos, graveras, arenales, canteras, etc.
AR	Arroz	RS	Rastrojera de cereal de invierno
AU	Áreas urbanas	SO	Sorgo
AV	Avena	SV	Superficie vegetal natural
BA	Barbecho	TA	Terreno arado
BC	Bosque de coníferas (principalmente pinares)	TR	Trigo
CB	Cebada	VC	Vías de comunicación
CE	Cebolla	VI	Viñedo
CH	Chopos	VR	Vegetación de ribera
CO	Colza	VV	Viveros
FO	Forrajeras	SVAG	Superficie vegetal y agua
FR	Frutales	SVAU	Superficie vegetal y áreas urbanas
GI	Girasol	VCAG	Vías de comunicación y agua
GS	Guisantes		
HF	Huerto familiar y hortalizas		
MB	Monte bajo y matorral		

En clasificación únicamente

AFFO	Alfalfa y forrajeras
CBr	Cebada en regadío
CRTAs	Cereal invierno y terreno arado en secano
FRr	Frutales en regadío
FRs	Frutales en secano (Incluye también AL y OL)
TRr	Trigo en regadío
TANCSV	Terreno arado, no cultivado y superficie vegetal
TASVp	Terreno arado y superficie vegetal en primavera
TASVv	Terrreno arado y superficie vegetal en verano

(043) v 1997 CAS

1600121617x

Universidad de Lleida
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria



27 MAIG 1997

E: 2348 S:

**Teledetección y aforo de superficies de cultivos en
pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada
por polígono de riego.**



Memoria que presenta M^a Auxiliadora Caslerad Seral
para optar al grado de Doctora

Director de Tesis: Dr. Juan Herrero Isern

Zaragoza, mayo 1997

Mo_56260

Anejo IV.- Matrices de confusión

Matrices de confusión

En este Anejo se presentan las matrices de confusión, en píxeles, entre lo inventariado (verdad-terreno) y lo clasificado para 1993 y 1994 en los 44 segmentos del regadío de Flumen (Huesca) una vez eliminados los píxeles de borde.

A partir de dichas matrices se obtuvieron los diferentes índices y medidas de exactitud de la clasificación presentados en el Apartado II.1.

Relación de Tablas

Tabla IV.1.- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de primavera de 1993.

Tabla IV.2.- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de primavera de 1993.

Tabla IV.3.- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de verano de 1993.

Tabla IV.4.- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de verano de 1993.

Tabla IV.5.- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de primavera de 1994.

Tabla IV.6.- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de primavera de 1994.

Tabla IV.7.- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de verano de 1994.

Tabla IV.8.- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de verano de 1994.

En cada Tabla se incluyen tres matrices de confusión que corresponden a:

- (a) Selección automática de áreas de entrenamiento en la clasificación
- (b) Selección semiautomática de áreas de entrenamiento en la clasificación
- (c) Selección manual de áreas de entrenamiento en la clasificación

Anejo IV

Tabla IV.1.- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de primavera de 1993.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno					Total	Clase
	1	2	3	4	5		
1	1129	359	432	1	14	1935	Alfalfa+forrajeras
2	466	1255	231	6	36	1994	Cereal de invierno
3	742	613	4152	109	116	5732	Sin cultivo
4	0	13	8	84	0	105	Pinos
5	63	62	263	16	15	419	Otras clases
Total	2400	2302	5086	216	181	10185	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno					Total	Clase
	1	2	3	4	5		
1	1065	292	335	0	10	1702	Alfalfa+forrajeras
2	489	1296	246	7	35	2073	Cereal de invierno
3	819	675	4230	108	121	5953	Sin cultivo
4	0	12	8	85	0	105	Pinos
5	27	27	267	16	15	352	Otras clases
Total	2400	2302	5086	216	181	10185	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno					Total	Clase
	1	2	3	4	5		
1	1109	356	475	3	23	1966	Alfalfa+forrajeras
2	509	1310	304	3	19	2145	Cereal de invierno
3	649	524	3942	101	104	5365	Sin cultivo
4	1	7	8	79	0	95	Pinos
5	87	105	357	30	35	614	Otras clases
Total	2400	2302	5086	216	181	10185	

Matrices de confusión

Tabla IV.2.- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de primavera de 1993.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	905	23	6	92	4	16	1046	Arroz
2	17	1394	112	353	1	11	1888	Alfalfa+forrajeras
3	1	264	1739	252	1	32	2289	Cereal de invierno
4	62	626	360	3060	57	60	4225	Sin cultivo
5	2	1	5	29	143	0	180	Pinos
6	56	92	80	257	10	62	557	Otras clases
Total	1043	2400	2302	4043	216	181	10185	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	909	25	6	104	4	16	1064	Arroz
2	17	1595	130	368	0	20	2130	Alfalfa+forrajeras
3	0	204	1790	298	1	30	2323	Cereal de invierno
4	57	509	308	2960	48	50	3932	Sin cultivo
5	2	3	7	42	153	1	208	Pinos
6	58	64	61	271	10	64	528	Otras clases
Total	1043	2400	2302	4043	216	181	10185	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	861	25	5	200	3	6	1100	Arroz
2	11	1362	89	356	1	16	1835	Alfalfa+forrajeras
3	1	225	1729	263	3	14	2235	Cereal de invierno
4	49	452	282	2380	20	57	3240	Sin cultivo
5	3	7	9	89	150	2	260	Pinos
6	118	329	188	755	39	86	1515	Otras clases
Total	1043	2400	2302	4043	216	181	10185	

Anejo IV

Tabla IV.3.- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de verano de 1993.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	939	32	71	3	69	29	3	1146	Arroz
2	48	1459	353	118	226	2	13	2219	Alfalfa+forrajeras
3	35	178	611	38	225	4	21	1112	Girasol
4	0	0	0	0	0	0	0	0	Maíz
5	17	429	705	38	3951	93	87	5320	Sin cultivo
6	10	12	10	0	14	83	0	129	Pinos
7	50	50	48	4	191	5	22	370	Otras clases
Total	1099	2160	1798	201	4676	216	146	10296	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	942	42	71	9	74	29	3	1170	Arroz
2	49	1513	336	106	236	2	19	2261	Alfalfa+forrajeras
3	26	122	602	27	185	2	12	976	Girasol
4	0	0	0	0	0	0	1	1	Maíz
5	22	421	720	54	3982	93	87	5379	Sin cultivo
6	11	14	10	0	15	85	0	135	Pinos
7	49	48	59	5	184	5	24	374	Otras clases
Total	1099	2160	1798	201	4676	216	146	10296	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	895	104	97	16	110	39	4	1265	Arroz
2	9	1449	264	105	373	1	36	2237	Alfalfa+forrajeras
3	87	290	864	47	390	13	22	1713	Girasol
4	2	42	19	9	14	0	1	87	Maíz
5	3	143	401	13	3409	55	52	4076	Sin cultivo
6	8	10	8	0	40	90	1	157	Pinos
7	95	122	145	11	340	18	30	761	Otras clases
Total	1099	2160	1798	201	4676	216	146	10296	

Matrices de confusión

Tabla IV.4- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de verano de 1993.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	947	29	63	7	56	3	0	1105	Arroz
2	22	1490	205	49	181	2	20	1969	Alfalfa+forrajeras
3	23	194	976	40	234	8	21	1496	Girasol
4	5	52	61	79	21	0	4	222	Maíz
5	24	336	394	25	3797	43	71	4690	Sin cultivo
6	3	5	10	0	45	149	0	212	Pinos
7	75	54	89	1	342	11	30	602	Otras clases
Total	1099	2160	1798	201	4676	216	146	10296	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	943	28	57	7	55	3	0	1093	Arroz
2	20	1550	198	48	169	2	27	2014	Alfalfa+forrajeras
3	28	166	998	43	224	8	16	1483	Girasol
4	2	50	69	77	29	0	3	230	Maíz
5	26	303	397	25	3811	41	69	4672	Sin cultivo
6	3	5	10	0	46	151	0	215	Pinos
7	77	58	69	1	342	11	31	589	Otras clases
Total	1099	2160	1798	201	4676	216	146	10296	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	919	55	72	24	100	1	3	1174	Arroz
2	9	1370	245	45	272	0	42	1983	Alfalfa+forrajeras
3	45	283	956	38	332	11	19	1684	Girasol
4	3	51	49	64	5	0	1	173	Maíz
5	2	117	235	16	2991	14	36	3411	Sin cultivo
6	5	18	29	1	129	170	5	357	Pinos
7	116	266	212	13	847	20	40	1514	Otras clases
Total	1099	2160	1798	201	4676	216	146	10296	

Anejo IV

Tabla IV.5.- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de primavera de 1994.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	1178	1	4	31	0	0	1214	Arroz
2	1	1416	78	113	0	19	1627	Alfalfa+forrajeras
3	11	189	1576	396	110	64	2346	Cereal de invierno
4	29	359	553	2695	69	90	3795	Sin cultivo
5	0	0	11	2	27	0	40	Pinos
6	96	56	49	114	7	25	347	Otras clases
Total	1315	2021	2271	3351	213	198	9369	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	1177	1	4	32	0	0	1214	Arroz
2	1	1401	70	107	2	20	1601	Alfalfa+forrajeras
3	11	156	1442	302	100	47	2058	Cereal de invierno
4	30	399	696	2792	70	107	4094	Sin cultivo
5	0	0	12	2	34	1	49	Pinos
6	96	64	47	116	7	23	353	Otras clases
Total	1315	2021	2271	3351	213	198	9369	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	1160	1	2	24	0	0	1187	Arroz
2	0	1517	169	222	3	31	1942	Alfalfa+forrajeras
3	13	160	1645	528	122	70	2538	Cereal de invierno
4	10	160	274	2174	24	48	2690	Sin cultivo
5	6	1	19	39	42	4	111	Pinos
6	126	182	162	364	22	45	901	Otras clases
Total	1315	2021	2271	3351	213	198	9369	

Matrices de confusión

Tabla IV.6.- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de primavera de 1994.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	1151	0	1	20	1	0	1173	Arroz
2	0	1494	47	149	0	21	1711	Alfalfa+forrajeras
3	1	103	1784	299	13	26	2226	Cereal de invierno
4	21	312	317	2599	41	105	3395	Sin cultivo
5	1	2	5	53	152	3	216	Pinos
6	141	110	117	231	6	43	648	Otras clases
Total	1315	2021	2271	3351	213	198	9369	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	1151	0	1	20	1	0	1173	Arroz
2	0	1500	44	144	1	24	1713	Alfalfa+forrajeras
3	1	108	1822	312	12	44	2299	Cereal de invierno
4	21	288	277	2581	41	85	3293	Sin cultivo
5	1	2	5	55	151	3	217	Pinos
6	141	123	122	239	7	42	674	Otras clases
Total	1315	2021	2271	3351	213	198	9369	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno						Total	Clase
	1	2	3	4	5	6		
1	1133	0	1	18	1	0	1153	Arroz
2	0	1429	44	147	0	22	1642	Alfalfa+forrajeras
3	6	86	1754	391	19	57	2313	Cereal de invierno
4	4	145	170	2134	25	44	2522	Sin cultivo
5	0	3	12	73	137	4	229	Pinos
6	172	358	290	588	31	71	1510	Otras clases
Total	1315	2021	2271	3351	213	198	9369	

Anejo IV

Tabla IV.7- Matrices de confusión de las clasificaciones unitemporales de verano de 1994.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1189	65	6	63	61	25	0	1409	Arroz
2	32	1438	206	164	154	2	27	2023	Alfalfa+forrajeras
3	4	75	72	36	26	0	15	228	Girasol
4	9	60	68	107	60	2	5	311	Maíz
5	35	290	366	406	3646	100	123	4966	Sin cultivo
6	21	5	1	1	36	78	2	144	Pinos
7	57	50	21	24	171	6	46	375	Otras clases
Total	1347	1983	740	801	4154	213	218	9456	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1190	64	8	60	63	25	0	1410	Arroz
2	33	1391	186	132	101	2	25	1870	Alfalfa+forrajeras
3	1	66	113	25	36	0	18	259	Girasol
4	11	86	47	146	55	2	8	355	Maíz
5	33	308	367	414	3679	100	124	5025	Sin cultivo
6	21	5	1	1	37	78	2	145	Pinos
7	58	63	18	23	183	6	41	392	Otras clases
Total	1347	1983	740	801	4154	213	218	9456	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1073	35	7	24	39	22	1	1201	Arroz
2	3	1101	92	45	98	3	17	1359	Alfalfa+forrajeras
3	0	153	205	93	198	0	30	679	Girasol
4	61	273	109	268	151	2	9	873	Maíz
5	8	130	203	257	3149	56	95	3898	Sin cultivo
6	49	13	14	24	96	103	3	302	Pinos
7	153	278	110	90	423	27	63	1144	Otras clases
Total	1347	1983	740	801	4154	213	218	9456	

Matrices de confusión

Tabla IV.8.- Matrices de confusión de las clasificaciones multitemporales de verano de 1994.

(a) Automática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1177	0	1	0	14	1	0	1193	Arroz
2	0	1507	48	39	104	4	23	1725	Alfalfa+forrajeras
3	0	98	325	87	64	0	24	598	Girasol
4	2	60	124	393	92	3	5	679	Maíz
5	14	203	201	241	3542	53	110	4364	Sin cultivo
6	1	3	1	0	48	145	3	201	Pinos
7	153	112	40	41	290	7	53	696	Otras clases
Total	1347	1983	740	801	4154	213	218	9456	

(b) Semiautomática

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1177	0	1	0	14	1	0	1193	Arroz
2	1	1522	46	37	88	1	20	1715	Alfalfa+forrajeras
3	0	69	398	72	113	2	27	681	Girasol
4	3	63	103	439	92	3	6	709	Maíz
5	15	205	156	216	3506	53	104	4255	Sin cultivo
6	1	3	0	0	50	145	3	202	Pinos
7	150	121	36	37	291	8	58	701	Otras clases
Total	1347	1983	740	801	4154	213	218	9456	

(c) Manual

Clasificado	Verdad-terreno							Total	Clase
	1	2	3	4	5	6	7		
1	1157	0	0	0	6	1	0	1164	Arroz
2	0	1283	44	23	81	1	15	1447	Alfalfa+forrajeras
3	1	51	319	49	176	0	17	613	Girasol
4	2	120	122	425	189	5	9	872	Maíz
5	3	60	123	159	3026	39	79	3489	Sin cultivo
6	3	6	9	5	95	143	4	265	Pinos
7	181	463	123	140	581	24	94	1606	Otras clases
Total	1347	1983	740	801	4154	213	218	9456	

Anejo V.- Datos agrometeorológicos

Datos agrometeorológicos

En este anejo se incluyen los datos utilizados para la estimación de volúmenes de agua de riego en el regadío de Flumen (Capítulo IV).

Los valores meteorológicos utilizados han sido los siguientes:

- Estación meteorológica de Grañén Monte Sodeto (Huesca)
(Latitud: 41° 53' 25'' N; Longitud: 0° 15' 11'' W, Greenwich; Elevación: 365 m)

Valores medios mensuales de temperatura máxima y mínima (18 años) y valores de precipitación total mensual (23 años) para un año medio.

Valores meteorológicos secundarios (media mensual de la humedad relativa mínima diaria del aire, media mensual de la razón entre insolación real diaria e insolación máxima posible diaria y media mensual de la velocidad diurna del viento a 2 m del nivel del suelo) estimados para un año medio mediante la técnica de la inversa del cuadrado de la distancia.

Fuente: Faci y Martínez-Cob, 1991

- Estación meteorológica de Sariñena (Huesca)
(Latitud: 41° 47' 30'' N; Longitud: 0° 9' 26'' W, Greenwich; Elevación: 281 m)

Valores medios mensuales de temperatura máxima y mínima y valores totales mensuales de precipitación registrados en el periodo de enero de 1961 a septiembre de 1987.

Fuente: Centro Meteorológico Territorial de Aragón, La Rioja y Navarra.

- Estación meteorológica de Sariñena Comarcal (Huesca)
(Latitud: 41° 47' 29'' N; Longitud: 0° 9' 19'' W, Greenwich; Elevación: 275 m)

Valores medios mensuales de temperatura máxima y mínima y valores totales mensuales de precipitación registrados en el periodo de enero de 1988 a septiembre de 1995.

Fuente: Centro Meteorológico Territorial de Aragón, La Rioja y Navarra.

La estación de Sariñena Comarcal sustituyó a la de Sariñena en 1988. Como el cambio de ubicación fue pequeño, se consideró que el registro de la nueva estación era una continuidad de la antigua. Los valores de temperatura máxima, mínima y precipitación de ambas estaciones se utilizaron para obtener los correspondientes al año medio. En las Tablas presentadas los valores y estimaciones del año medio así obtenidos se refieren con el nombre de estación 'Sariñena'.

Los valores medios mensuales de temperatura máxima y mínima correspondientes a mayo de 1991 y febrero de 1993 no estaban disponibles. Por ello, para los estudios de "año en curso" dichos valores se han completado con la estación automática de Sariñena, adyacente a la de Sariñena Comarcal.

Para las estimaciones de evapotranspiración de referencia (ET_0) se han utilizado en todos los casos presentados los datos meteorológicos secundarios de la estación de Grañén Monte Sodeto.

Las necesidades hídricas netas se han obtenido descontando a la evapotranspiración del cultivo, calculada por la metodología FAO, la precipitación efectiva (Apartado IV.1). Dicha precipitación efectiva se calcula en función de la evapotranspiración del cultivo, de la precipitación y de la disminución de contenido de agua en el suelo entre dos riegos sucesivos. En este trabajo esta disminución se ha considerado de 75 mm (Cuenca, 1989) para todos los cultivos excepto para el arroz.

Para este cultivo se consideró en principio una disminución de 10 mm, si bien la notable diferencia de las necesidades hídricas netas así estimadas con el agua que los agricultores de la zona aplican a este cultivo (Tolosa, 1990) llevó a considerar como necesidades hídricas netas para el año medio el volumen indicado por dicho autor. Este dato se modificó en las estimaciones para los años en curso en proporción a las necesidades hídricas netas estimadas por la metodología FAO. En las Tablas se presentan tanto las necesidades hídricas netas estimadas con la metodología propuesta por FAO, representadas como "Arroz", como las estimadas en función del dato de consumo de agua de Tolosa, representadas como "Arroz-Tolosa".

Relación de Tablas

- Tabla V.1.- Valores meteorológicos y estimas de ET_0 para un año medio en las estaciones meteorológicas de Grañén Monte Sodeto y de Sariñena.
- Tabla V.2.- Valores meteorológicos y estimas de ET_0 para 1991, 1993 y 1994 en la estación meteorológica de Sariñena.
- Tabla V.3.- Coeficientes de cultivo mensuales estimados considerando los ciclos y fases de cultivo indicados en las dos últimas filas de la Tabla.
- Tabla V.4.- Necesidades hídricas netas estacionales (mm) de los principales cultivos del regadío estimadas para Grañén Monte Sodeto y para Sariñena.
- Tabla V.5.- Necesidades hídricas netas mensuales, para un año medio (mm), de los principales cultivos del regadío estimadas para Sariñena.
- Tabla V.6.- Necesidades hídricas netas mensuales, para 1991, 1993 y 1994 (mm), de los principales cultivos del regadío estimadas para Sariñena.
- Tabla V.7.- Medias mensuales de temperatura máxima diaria del aire (°C) registradas en la estación de Sariñena para una serie de 21 años.
- Tabla V.8.- Medias mensuales de temperatura mínima diaria del aire (°C) registradas en la estación de Sariñena para una serie de 21 años.
- Tabla V.9.- Precipitación total mensual y anual (mm) registrada en la estación de Sariñena para una serie de 21 años.
- Tabla V.10.- ET_0 total mensual y anual (mm) estimada para Sariñena para una serie de 21 años.
- Tabla V.11.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del arroz (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.
- Tabla V.12.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del arroz-Tolosa (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.
- Tabla V.13.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales de la alfalfa y forrajeras (mm) para 21 estimadas para Sariñena.
- Tabla V.14.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales de la cebada (mm) para 21 estimadas para Sariñena.
- Tabla V.15.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del girasol (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.
- Tabla V.16.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del maíz (mm) para 21 estimadas para Sariñena.
- Tabla V.17.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del trigo (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.

Abreviaturas utilizadas

- Prec. = Precipitación total mensual, mm
- T_{\max} = Media mensual de la temperatura máxima diaria del aire, °C
- T_{\min} = Media mensual de la temperatura mínima diaria del aire, °C
- HR_{\min} = Media mensual de la humedad relativa mínima diaria del aire, %
- n/N = Media mensual de la razón entre insolación fuerte diaria e insolación diaria máxima posible, sin dimensiones
- U_{dia} = Media mensual de la velocidad diurna diaria del viento a 2 m de altura sobre el nivel del suelo, m/s
- ET_0 = Evapotranspiración total mensual para un cultivo de referencia (Festuca), mm

Datos agrometeorológicos

Tabla V.1.- Valores meteorológicos y estimas de ET_0 para un año medio en las estaciones meteorológicas de Grañén Monte Sodeto y de Sariñena.

Mes	Grañén Monte Sodeto							Sariñena			
	Prec. mm	T_{max} °C	T_{min} °C	HR _{min} %	n/N	U_{dia} m/s	ET_0 mm	Prec. mm	T_{max} °C	T_{min} °C	ET_0 mm
Enero	40.4	9.9	0.6	69	0.44	3.6	15.8	26.0	9.8	0.8	15.5
Febrero	35.0	12.6	1.2	59	0.53	3.9	33.9	26.6	13.1	2.2	35.8
Marzo	47.3	16.2	2.8	49	0.58	4.0	68.2	26.7	16.5	4.0	70.7
Abril	45.3	20.1	5.5	48	0.57	4.1	94.8	40.8	19.6	6.2	94.5
Mayo	56.1	24.6	9.5	49	0.57	3.5	129.6	47.7	23.9	10.2	129.3
Junio	50.1	29.6	13.8	43	0.65	3.5	172.5	38.3	28.6	14.4	169.8
Julio	28.2	32.8	16.1	37	0.74	3.5	207.7	26.3	32.3	17.7	209.3
Agosto	32.9	32.5	16.4	40	0.73	3.5	185.4	33.6	31.5	17.2	183.2
Septiembre	60.7	28.0	13.3	46	0.64	3.2	122.1	42.6	26.7	13.7	119.1
Octubre	47.3	22.0	8.3	55	0.58	3.3	74.4	46.1	20.5	9.1	72.5
Noviembre	44.3	15.1	3.7	64	0.50	3.3	32.1	39.5	14.1	4.3	31.2
Diciembre	37.4	9.2	-0.2	72	0.41	3.1	10.9	29.2	9.7	1.5	13.3
Año	525.0						1147.4	423.4			1144.2

Tabla V.2.- Valores meteorológicos y estimas de ET_0 para 1991, 1993 y 1994 en la estación meteorológica de Sariñena.

Mes	1991				1993				1994			
	Prec. mm	T_{max} °C	T_{min} °C	ET_0 mm	Prec. mm	T_{max} °C	T_{min} °C	ET_0 mm	Prec. mm	T_{max} °C	T_{min} °C	ET_0 mm
Enero	12.2	10.2	-1.1	13.6	0.0	9.8	-0.4	14.0	2.0	12.0	1.3	18.9
Febrero	17.8	12.1	-0.3	30.5	12.1	11.4	0.2	30.2	19.0	15.3	4.0	42.3
Marzo	44.9	16.8	6.5	76.9	10.3	16.4	4.1	70.7	3.0	21.3	4.9	83.1
Abril	18.1	17.9	3.9	85.2	59.4	22.5	6.7	102.6	19.2	19.0	4.5	89.4
Mayo	5.6	21.2	8.5	118.1	55.1	23.2	11.2	130.2	74.0	27.3	9.5	136.4
Junio	6.3	28.9	12.7	165.9	14.9	28.5	14.5	169.8	0.0	28.8	13.8	168.9
Julio	8.1	32.5	16.2	205.2	0.0	30.0	15.0	193.8	20.0	33.7	18.2	215.1
Agosto	1.0	34.5	18.1	194.4	82.3	31.0	15.7	177.6	13.9	32.1	16.9	184.1
Septiembre	54.0	27.3	14.5	122.4	42.7	23.7	11.6	107.7	119.8	24.2	11.8	109.2
Octubre	74.5	17.9	6.3	62.3	70.1	20.0	8.6	70.4	65.1	21.0	10.0	75.0
Noviembre	37.6	13.9	3.4	29.7	10.9	13.6	4.9	31.5	37.6	17.6	6.5	39.3
Diciembre	11.5	11.5	3.7	18.3	0.9	11.9	2.7	18.6	8.3	11.6	2.5	16.7
Año	291.6			1122.5	358.7			1117.1	381.9			1178.4

Anejo V

Tabla V.3.- Coeficientes de cultivo medios mensuales estimados considerando los ciclos y fases de cultivo indicados en las dos última filas de la Tabla.

Mes	Alfalfa y forrajeras	Arroz	Cebada	Girasol	Maíz	Trigo
Enero	0.88		0.86			0.77
Febrero	0.88		1.02			0.93
Marzo	0.88		1.09			1.08
Abril	0.88		1.09			1.09
Mayo	0.88	1.10	0.96	0.50	0.51	1.08
Junio	0.88	1.10	0.38	0.70	0.74	0.55
Julio	0.88	1.20		1.09	1.08	
Agosto	0.88	1.20		1.10	1.11	
Septiembre	0.88	1.20		0.66	0.96	
Octubre	0.88	0.95			0.62	
Noviembre	0.88		0.72			
Diciembre	0.88		0.73			0.74
Ciclo	1Ene/31Dic	1May/31Oct	5Nov/10Jun	10May/20Sep	1May/5Oct	1Dic/20Jun
Fases (días)			45/70/77/25	25/35/48/25	30/40/62/25	45/55/76/25

Tabla V.4.- Necesidades hídricas netas estacionales (mm) de los principales cultivos de regadío estimadas para Grañen Monte Sodeto y para Sariñena.

Cultivo	Grañen	Sariñena			
	Año medio	Año medio	1991	1993	1994
Alfalfa y forrajeras	674	723	807	738	789
Arroz	878	888	933	841	881
Arroz -Tolosa	1500	1500	1576	1421	1488
Cebada	221	256	286	271	319
Girasol	504	520	615	493	535
Maíz	571	592	689	557	581
Trigo	261	298	334	322	368

Tabla V.5.- Necesidades hídricas netas mensuales, para un año medio (mm), de los principales cultivos del regadío estimadas para Sariñena.

Mes	Alfalfa y forrajeras	Arroz	Arroz Tolosa	Cebada	Girasol	Maíz	Trigo
Enero	0			0			0
Febrero	15			19			17
Marzo	45			59			58
Abril	55			74			74
Mayo	81	120	203	90	24	35	104
Junio	119	165	279	14	90	96	45
Julio	162	234	395		202	201	
Agosto	134	199	336		171	173	
Septiembre	75	121	204		33	83	
Octubre	34	49	83			4	
Noviembre	3			0			
Diciembre	0			0			0

Datos agrometeorológicos

Tabla V.6.- Necesidades hídricas netas mensuales, para 1991, 1993 y 1994 (mm), de los principales cultivos del regadío estimadas para Sariñena.

Mes	Alfalfa y forrajeras	Arroz	Arroz Tolosa	Cebada	Girasol	Maíz	Trigo
1991							
Enero	5			5			3
Febrero	16			20			17
Marzo	38			53			52
Abril	63			80			80
Mayo	102	128	216	110	40	58	124
Junio	143	180	304	18	114	121	58
Julio	176	242	409		217	216	
Agosto	172	233	394		214	216	
Septiembre	70	120	203		30	78	
Octubre	9	30	51				
Noviembre	3			1			
Diciembre	10			0			0
1993							
Enero	12			12			11
Febrero	20			24			21
Marzo	56			70			69
Abril	50			70			70
Mayo	75	116	196	83	20	30	98
Junio	138	178	301	12	107	114	53
Julio	171	233	394		211	210	
Agosto	95	168	284		127	129	
Septiembre	65	108	182		28	73	
Octubre	18	38	64			1	
Noviembre	22			20			
Diciembre	16			0			0
1994							
Enero	17			16			14
Febrero	25			31			27
Marzo	73			91			90
Abril	66			84			84
Mayo	68	114	193	75	14	21	91
Junio	149	186	314	22	117	124	62
Julio	172	245	414		214	214	
Agosto	152	213	360		190	192	
Septiembre	21	79	133		0	28	
Octubre	25	44	74			2	
Noviembre	11			13			
Diciembre	10			13			13

Anejo V

Tabla V.7.- Medias mensuales de la temperatura máxima diaria del aire (°C) registradas en la estación de Sariñena para una serie de 21 años.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
1969	11.3	10.3	14.7	17.9	22.7	26.6	33.2	31.6	24.6	20.8	13.4	9.0
1970	10.4	13.4	15.7	19.2	24.4	30.2	33.0	30.4	29.0	19.7	16.2	7.3
1972	8.5	11.4	15.7	18.5	22.4	26.5	33.2	28.6	22.2	19.8	15.8	9.4
1973	9.1	13.0	16.5	20.4	26.4	28.2	30.5	33.3	27.2	20.4	12.6	8.9
1974	10.7	14.7	15.2	19.3	25.0	28.5	32.4	31.8	25.2	18.3	15.1	8.1
1975	9.8	13.0	15.4	20.7	23.1	28.6	33.5	32.8	26.8	21.2	15.4	8.6
1976	6.5	14.8	17.1	18.3	26.7	32.2	32.3	30.0	24.0	19.2	11.5	10.0
1977	9.5	14.1	17.1	19.6	21.9	27.4	28.3	28.4	26.4	20.8	14.7	10.1
1978	7.5	13.0	15.9	16.2	21.8	25.7	31.0	29.5	27.7	19.7	11.9	9.9
1979	9.6	12.3	16.2	18.3	23.2	28.3	31.9	30.0	27.1	20.5	11.6	8.2
1980	8.2	13.4	15.1	17.9	20.8	26.6	29.9	32.7	28.0	18.9	11.6	8.0
1981	9.4	9.8	18.9	18.2	21.0	30.1	30.2	31.7	26.3	23.3	14.1	11.5
1982	12.2	11.7	16.3	20.9	23.3	31.7	34.2	29.4	25.8	18.5	12.5	8.1
1983	7.0	9.4	15.4	18.2	23.4	28.6	34.4	30.1	29.3	21.5	15.2	8.4
1984	10.0	11.3	12.3	21.7	19.6	29.8	35.2	31.5	26.5	20.8	15.9	10.3
1985	8.9	16.4	16.5	23.7	25.0	30.3	35.0	33.4	31.1	24.1	13.2	10.6
1986	13.1	13.1	19.4	18.8	29.5	31.6	33.6	33.9	28.5	23.2	16.7	12.1
1990	8.9	17.2	19.8	18.4	25.7	28.4	32.3	32.5	28.0	21.4	13.7	8.1
1991	10.2	12.1	16.8	17.9	21.2	28.9	32.5	34.5	27.3	17.9	13.9	11.5
1993	9.8	11.4	16.4	22.5	23.2	28.5	30.0	31.0	23.7	20.0	13.6	11.9
1994	12.0	15.3	21.3	19.0	27.3	28.8	33.7	32.1	24.2	21.0	17.6	11.6

Tabla V.8.- Medias mensuales de la temperatura mínima diaria del aire (°C) registradas en la estación de Sariñena para una serie de 21 años.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
1969	2.3	0.2	5.2	8.2	11.6	13.8	19.9	19.2	13.4	10.7	3.6	0.5
1970	2.7	3.1	2.6	6.8	11.0	17.1	18.9	18.2	16.0	8.0	4.8	-1.3
1972	0.1	1.6	4.7	5.3	9.4	13.2	17.9	15.1	10.9	9.2	5.7	1.3
1973	0.6	0.9	2.4	6.0	12.6	15.7	19.1	20.0	14.6	7.7	3.5	0.1
1974	1.6	2.9	5.2	6.8	10.8	14.7	18.1	17.6	12.6	5.7	4.0	0.8
1975	1.3	2.9	3.8	6.9	10.3	14.3	18.7	19.2	13.7	9.0	3.6	1.0
1976	-0.4	3.6	4.1	6.5	11.8	17.7	18.0	17.7	12.4	8.7	1.5	2.5
1977	1.1	3.5	5.3	6.6	9.5	13.7	15.8	15.1	12.9	11.5	4.3	3.7
1978	0.0	3.7	4.8	5.0	9.2	13.5	16.6	16.4	14.1	8.8	3.5	1.5
1979	2.6	2.5	4.7	5.4	11.0	15.7	18.9	16.8	15.5	10.9	2.4	0.1
1980	-0.7	3.5	3.7	5.5	9.6	12.8	15.2	19.1	15.8	8.5	2.9	-2.2
1981	0.4	-1.0	6.3	6.8	9.3	15.6	15.9	17.9	14.6	9.8	3.4	3.3
1982	3.7	2.6	3.2	6.2	9.3	16.5	18.7	14.9	14.3	8.0	4.9	1.1
1983	-1.7	-1.1	4.0	5.8	9.9	15.0	19.8	16.0	14.1	9.1	7.3	0.6
1984	0.7	0.3	0.5	5.7	6.3	13.1	17.5	14.8	10.0	7.3	5.8	2.1
1985	-0.7	5.4	3.2	7.8	9.2	15.1	19.2	17.8	15.6	11.2	3.1	1.2
1986	2.1	1.6	3.9	4.9	12.0	15.0	18.3	19.0	16.0	12.2	5.8	2.7
1990	1.7	4.5	3.9	5.1	10.4	13.5	16.9	17.2	14.4	10.4	5.4	-1.8
1991	-1.1	-0.3	6.5	3.9	8.5	12.7	16.2	18.1	14.5	6.3	3.4	3.7
1993	-0.4	0.2	4.1	6.7	11.2	14.5	15.0	15.7	11.6	8.6	4.9	2.7
1994	1.3	4.0	4.9	4.5	9.5	13.8	18.2	16.9	11.8	10.0	6.5	2.5

Datos agrometeorológicos

Tabla V.9.- Precipitación total mensual y anual (mm) registrada en la estación de Sariñena para una serie de 21 años.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969	41.4	65.8	104.1	127.1	34.5	32.1	17.4	20.4	54.2	71.9	24.2	7.8	600.9
1970	37.8	0.0	28.6	0.9	34.4	47.6	48.0	28.8	0.0	56.3	26.8	49.4	335.8
1972	36.4	32.9	33.2	35.0	53.7	120.8	93.8	31.7	170.3	50.5	66.3	12.0	736.6
1973	17.8	2.7	4.5	48.9	40.0	108.5	60.1	69.4	41.3	17.3	22.3	67.2	500.0
1974	13.8	22.1	185.5	23.8	43.4	12.5	74.5	38.0	113.0	8.2	14.8	9.5	559.1
1975	12.5	17.1	4.5	4.1	77.5	50.0	20.3	55.9	29.9	0.2	3.5	79.5	398.6
1976	0.7	25.5	17.2	82.7	25.0	1.7	17.8	54.0	39.8	78.9	23.1	68.7	435.1
1977	88.8	14.7	35.9	19.9	97.5	103.7	33.7	9.7	5.5	50.2	35.6	53.7	543.3
1978	27.0	33.7	48.1	64.1	35.0	45.1	1.2	26.0	28.7	0.0	0.0	62.3	359.0
1979	104.3	28.6	18.0	38.4	59.3	17.3	34.7	1.7	54.4	87.8	16.4	17.8	478.5
1980	6.1	35.0	24.7	56.1	76.7	55.7	16.3	24.8	44.5	27.7	34.3	2.7	404.6
1981	0.8	41.6	6.2	48.2	42.6	31.9	0.8	4.1	27.1	18.5	0.0	77.8	299.6
1982	25.3	44.0	31.6	20.2	60.2	24.9	38.5	91.9	25.6	123.6	47.3	9.7	542.8
1983	0.0	26.3	2.1	32.7	3.5	50.1	23.7	103.7	0.0	31.7	110.4	25.9	410.0
1984	8.5	24.2	65.5	2.9	135.3	27.1	0.0	53.2	2.4	20.6	84.5	6.1	430.3
1985	38.2	27.0	28.6	14.7	78.4	11.1	60.6	3.5	2.2	33.8	22.5	49.5	370.1
1986	22.9	41.1	4.1	73.0	37.9	2.3	21.2	9.4	115.0	79.1	55.5	21.6	483.1
1990	8.7	3.7	0.0	18.3	67.8	86.2	0.6	36.0	113.0	72.8	30.0	13.0	450.1
1991	12.2	17.8	44.9	18.1	5.6	6.3	8.1	1.0	54.0	74.5	37.6	11.5	291.6
1993	0.0	12.1	10.3	59.4	55.1	14.9	0.0	82.3	42.7	70.1	10.9	0.9	358.7
1994	2.0	19.0	3.0	19.2	74.0	0.0	20.0	13.9	119.8	65.1	37.6	8.3	381.9

Tabla V.10.- ET₀ total mensual y anual (mm) estimadas para Sariñena para una serie de 21 años.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969	19.5	28.6	69.4	95.4	129.9	162.6	218.9	189.1	113.7	76.0	29.4	11.5	1144.0
1970	18.9	37.8	66.0	95.1	132.7	182.1	215.1	182.9	129.3	68.8	35.1	7.1	1170.9
1972	13.0	33.6	70.7	90.0	123.4	160.5	212.7	169.0	102.9	71.3	35.7	12.7	1095.5
1973	14.3	33.9	67.3	96.0	142.0	172.5	208.0	196.2	122.4	69.4	28.2	10.9	1161.1
1974	17.7	39.5	70.7	95.4	133.6	170.4	210.8	185.1	113.4	62.0	32.4	10.5	1141.5
1975	16.1	37.0	67.9	98.7	127.4	169.4	216.1	192.5	118.8	73.5	32.1	11.5	1161.0
1976	9.6	42.3	72.2	92.4	140.7	189.3	210.2	180.4	110.1	69.1	23.7	14.9	1154.9
1977	15.5	39.5	74.7	95.7	122.5	164.7	191.0	168.3	116.7	77.5	32.1	16.4	1114.6
1978	11.5	38.1	71.3	84.0	121.5	159.3	201.8	175.2	122.4	70.4	27.0	13.6	1096.1
1979	17.7	35.3	71.6	89.7	129.6	172.8	211.7	177.6	123.9	75.6	25.2	9.9	1140.6
1980	11.5	39.7	67.0	89.1	120.0	159.9	194.1	191.9	126.6	68.2	25.8	6.8	1100.6
1981	14.6	25.8	80.9	92.7	119.7	177.6	197.2	185.7	120.3	79.1	30.0	17.7	1141.3
1982	22.3	34.4	68.5	97.8	125.6	184.5	218.2	170.8	118.5	66.7	30.0	10.9	1148.2
1983	8.7	25.2	68.5	90.3	127.4	171.6	222.3	175.8	125.7	74.4	37.2	10.9	1138.0
1984	15.8	31.3	54.3	98.4	108.2	169.5	217.6	176.4	110.4	69.4	36.0	14.9	1383.9
1985	12.4	45.9	69.1	108.0	129.6	176.7	222.3	190.3	133.2	83.1	28.2	14.0	1212.8
1986	21.4	35.0	76.9	89.7	148.5	180.0	215.1	195.0	128.4	83.4	37.2	17.7	1228.3
1990	15.5	45.9	77.8	89.4	134.5	166.8	206.8	186.0	123.6	76.6	32.4	7.4	1162.7
1991	13.6	30.5	76.9	85.2	118.1	165.9	205.2	194.4	122.4	62.3	29.7	18.3	1122.5
1993	14.0	30.2	70.7	102.6	130.2	169.8	193.8	177.6	107.7	70.4	31.5	17.4	1115.9
1994	18.9	42.3	83.1	89.4	136.4	168.9	215.1	184.4	109.2	75.0	39.3	16.7	1178.7

Anejo V

Tabla V.11.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del arroz (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969					125	161	251	214	110	43			904
1970					128	173	227	202	155	42			927
1972					110	118	200	184	54	46			712
1973					135	135	213	195	126	58			862
1974					125	181	208	199	86	56			855
1975					104	159	246	198	127	70			904
1976					142	208	241	185	112	34			922
1977					91	130	208	197	138	52			816
1978					116	151	242	195	132	67			903
1979					114	180	231	213	122	37			897
1980					96	146	223	215	129	53			862
1981					111	177	237	222	130	67			944
1982					109	188	237	156	129	17			836
1983					140	161	251	156	151	57			916
1984					62	171	261	181	132	57			864
1985					105	188	228	228	160	64			973
1986					143	198	244	229	101	47			962
1990					115	139	248	201	97	43			843
1991					128	180	242	233	120	30			933
1993					116	178	233	168	108	28			841
1994					114	186	245	213	79	27			881

Tabla V.12.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del arroz-Tolosa (mm) para 21 años meteorológicos estimadas para Sariñena.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969					211	272	424	361	186	73			1527
1970					216	292	383	341	262	71			1566
1972					186	199	338	311	91	78			1203
1973					228	228	360	329	213	98			1456
1974					211	306	351	336	145	95			1444
1975					176	269	416	334	215	118			1527
1976					240	351	407	312	189	57			1557
1977					154	220	351	333	233	88			1378
1978					196	255	409	329	223	113			1525
1979					193	304	390	360	206	62			1515
1980					162	247	377	363	218	90			1456
1981					188	299	400	375	220	113			1595
1982					184	318	400	263	218	29			1412
1983					236	272	424	263	255	96			1547
1984					105	289	441	306	223	96			1459
1985					177	318	385	385	270	108			1644
1986					242	334	412	387	171	79			1625
1990					194	235	419	340	164	73			1424
1991					216	304	409	394	203	51			1576
1993					196	301	394	284	182	64			1421
1994					193	314	414	360	133	74			1488

Datos agrometeorológicos

Tabla V.13.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales de la alfalfa y forrajeras (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969	0	0	0	7	89	118	178	150	63	22	11	6	644
1970	0	33	56	84	91	123	149	138	114	25	14	0	827
1972	0	8	40	55	71	58	113	124	0	30	0	4	503
1973	2	30	58	51	95	74	134	118	78	50	11	0	701
1974	7	21	0	68	86	141	126	132	28	50	20	4	683
1975	7	22	29	86	59	111	173	125	83	65	28	0	788
1976	9	20	52	29	105	168	170	117	69	12	7	0	758
1977	0	26	46	71	43	71	140	142	101	36	6	0	682
1978	0	13	39	33	82	106	179	133	87	62	24	0	758
1979	0	13	51	53	72	139	157	157	71	13	12	0	738
1980	7	12	43	41	54	99	158	149	79	42	2	6	692
1981	13	0	68	49	75	131	174	163	86	57	27	0	843
1982	4	4	39	72	68	142	159	83	86	0	0	4	661
1983	8	6	61	57	112	112	175	79	111	44	0	0	765
1984	10	12	8	87	12	128	193	114	98	48	0	10	720
1985	0	23	42	85	60	148	145	168	118	50	11	0	850
1986	5	6	67	32	102	159	171	165	38	24	0	2	771
1990	9	40	69	66	71	84	183	135	35	22	10	0	724
1991	5	16	38	63	102	143	176	172	70	9	3	10	807
1993	12	20	56	50	75	138	171	95	65	18	22	15	737
1994	17	25	73	66	68	149	172	152	21	25	11	10	789

Tabla V.14.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales de la cebada (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969	0	0	12	23	98	15					5	4	157
1970	0	38	69	104	101	14					7	0	333
1972	0	12	54	73	79	0					0	2	220
1973	2	34	72	70	105	0					6	0	289
1974	7	26	0	87	95	21					12	3	251
1975	7	27	42	107	67	11					19	0	280
1976	8	25	67	46	115	24					3	0	288
1977	0	31	60	90	51	0					1	0	233
1978	0	17	53	48	90	11					16	0	235
1979	0	18	66	70	81	20					7	0	262
1980	7	17	56	58	62	9					0	5	214
1981	12	1	85	67	83	17					18	0	283
1982	4	8	53	92	77	19					0	3	256
1983	7	9	75	75	121	12					0	0	299
1984	9	15	18	107	18	17					0	8	192
1985	0	29	56	107	69	22					5	0	288
1986	4	10	83	49	112	23					0	0	281
1990	9	46	85	84	80	4					4	0	312
1991	5	20	53	80	110	21					10	7	296
1993	12	23	71	70	84	20					14	13	307
1994	16	31	91	84	77	22					4	8	333

Anejo V

Tabla V.15.- Necesidades hídricas netas mensuales totales y estacionales del girasol (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969					29	90	221	189	26				555
1970					29	91	188	175	56				539
1972					20	34	149	158	0				361
1973					29	46	171	154	35				435
1974					26	109	162	169	4				470
1975					11	82	215	162	39				509
1976					35	130	211	151	31				558
1977					2	47	177	177	50				453
1978					27	80	220	169	41				537
1979					18	108	197	195	30				548
1980					10	73	196	188	36				503
1981					23	101	215	202	41				582
1982					17	110	200	114	41				482
1983					43	83	218	110	55				509
1984					0	101	237	148	48				534
1985					11	115	184	208	58				576
1986					31	123	213	206	9				582
1990					16	57	225	172	8				478
1991					40	114	217	214	30				615
1993					20	107	211	127	28				493
1994					14	117	214	190	0				535

Tabla V.16.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del maíz (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969					42	96	220	191	70	1			620
1970					43	98	188	177	124	2			632
1972					29	39	148	160	0	3			379
1973					42	51	170	156	87	7			513
1974					37	116	162	171	35	6			527
1975					17	88	214	164	91	7			581
1976					51	138	211	153	77	0			630
1977					5	52	176	179	109	4			525
1978					39	85	219	171	96	7			617
1979					27	114	196	197	79	0			613
1980					15	79	195	190	88	5			572
1981					34	108	214	204	95	8			663
1982					26	117	199	116	94	0			552
1983					63	90	217	112	121	5			608
1984					0	108	236	150	106	6			606
1985					17	122	184	210	128	6			667
1986					45	130	212	208	46	1			642
1990					24	62	224	174	43	1			582
1991					58	121	216	216	78	0			689
1993					30	114	210	129	73	1			557
1994					21	124	214	192	28	2			581

Datos agrometeorológicos

Tabla V.17.- Necesidades hídricas netas totales mensuales y estacionales del trigo (mm) para 21 años estimadas para Sariñena.

Año	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	Anual
1969	0	0	11	23	112	46						4	196
1970	0	35	68	104	115	46						0	368
1972	0	10	53	73	92	10						3	241
1973	0	32	71	70	120	18						0	311
1974	5	23	0	87	110	58						3	286
1975	5	24	41	107	80	40						0	297
1976	7	22	66	46	131	70						0	342
1977	0	27	59	90	63	18						0	257
1978	0	14	52	48	104	39						0	257
1979	0	15	65	70	95	56						0	301
1980	6	14	55	58	74	35						5	247
1981	11	0	84	67	96	51						0	309
1982	2	5	52	92	90	57						3	301
1983	7	7	74	75	136	41						0	340
1984	8	13	17	107	29	50						8	232
1985	0	25	55	107	82	61						0	330
1986	2	7	82	49	129	67						0	336
1990	7	42	84	84	94	25						0	336
1991	3	17	52	80	124	60						7	343
1993	11	21	70	70	98	57						12	339
1994	14	27	89	84	91	62						8	375

**Anejo VI.- Agua de riego facturada por la C.H.E.
en el regadío de Flumen (Huesca)**

Relación de Tablas

Tabla VI.1.- Volumen de agua de riego (miles de m³) facturada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca) durante 1991.

Tabla VI.2.- Volumen de agua de riego (miles de m³) facturada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca) durante 1993.

Tabla VI.3.- Volumen de agua de riego (miles de m³) facturada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca) durante 1994.

Anejo VI

Tabla VI.1.- Volumen de agua de riego (miles de m³) facturada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca) durante 1991.

CANAL DEL FLUMEN	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Totales
Comunidad de Tardienta	4	30	6	118	287	187	217	234	140	9	-	-	1 232
Comunidad de Valfonda	-	1	-	53	232	141	110	116	57	-	2	-	712
Comunidad de Barbués	3	127	6	479	1 648	1 509	1 900	1 858	837	1	1	-	8 369
Comunidad de Torres de Barbués	7	14	2	243	1 010	1 090	1 172	1 102	511	16	3	1	5 171
Comunidad de Almuniente	25	46	18	552	1 355	1 690	2 023	2 009	994	24	3	1	8 740
D. Fernando Susín Hernández	-	-	-	16	51	20	61	38	36	-	-	-	222
Comunidad de Grañén	12	149	6	547	3 132	2 775	3 403	3 235	1 269	13	8	2	14 551
Comunidad de Sangarrén	12	31	7	145	1 161	607	778	774	682	1	1	-	4 199
Comunidad de Vicién	-	14	-	59	374	425	621	575	386	52	-	-	2 506
Comunidad de Buñales	-	2	-	22	107	76	87	61	47	-	-	-	402
Comunidad de Albero Bajo	-	8	5	127	308	224	321	268	108	-	-	-	1 369
Comunidad de Callén	35	51	11	303	1 940	1 591	2 236	2 141	958	37	5	-	9 308
Comunidad de Piracés	-	-	-	139	439	376	476	444	231	3	-	-	2 108
Comunidad de Tramaced	1	8	-	339	1 026	786	1 049	997	391	1	1	2	4 601
Comunidad de Fraella	-	-	-	13	57	72	91	78	18	-	-	-	329
Comunidad del Sector VII	169	469	68	776	4 221	3 519	4 444	4 235	1 779	223	43	27	19 973
Comunidad de Sodeto	26	72	28	457	1 490	1 199	1 458	1 420	539	23	14	1	6 727
Comunidad de Lalueza	20	13	71	332	664	475	527	526	102	53	-	-	2 783
Comunidad de Alberuela de Tubo	1	51	27	209	762	622	710	679	302	2	1	-	3 366
Comunidad de San Lorenzo de Flumen	45	118	66	1 201	3 597	2 633	3 174	3 164	1 076	109	22	-	15 205
Comunidad de Capdesaso	150	450	620	3 291	6 115	5 075	5 192	5 381	1 710	90	13	-	28 087
Sumas	510	1 654	941	9 421	29 976	25 092	30 050	29 335	12 173	657	117	34	139 960

Tabla VI.2.- Volumen de agua de riego (miles de m³) facturada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca) durante 1993.

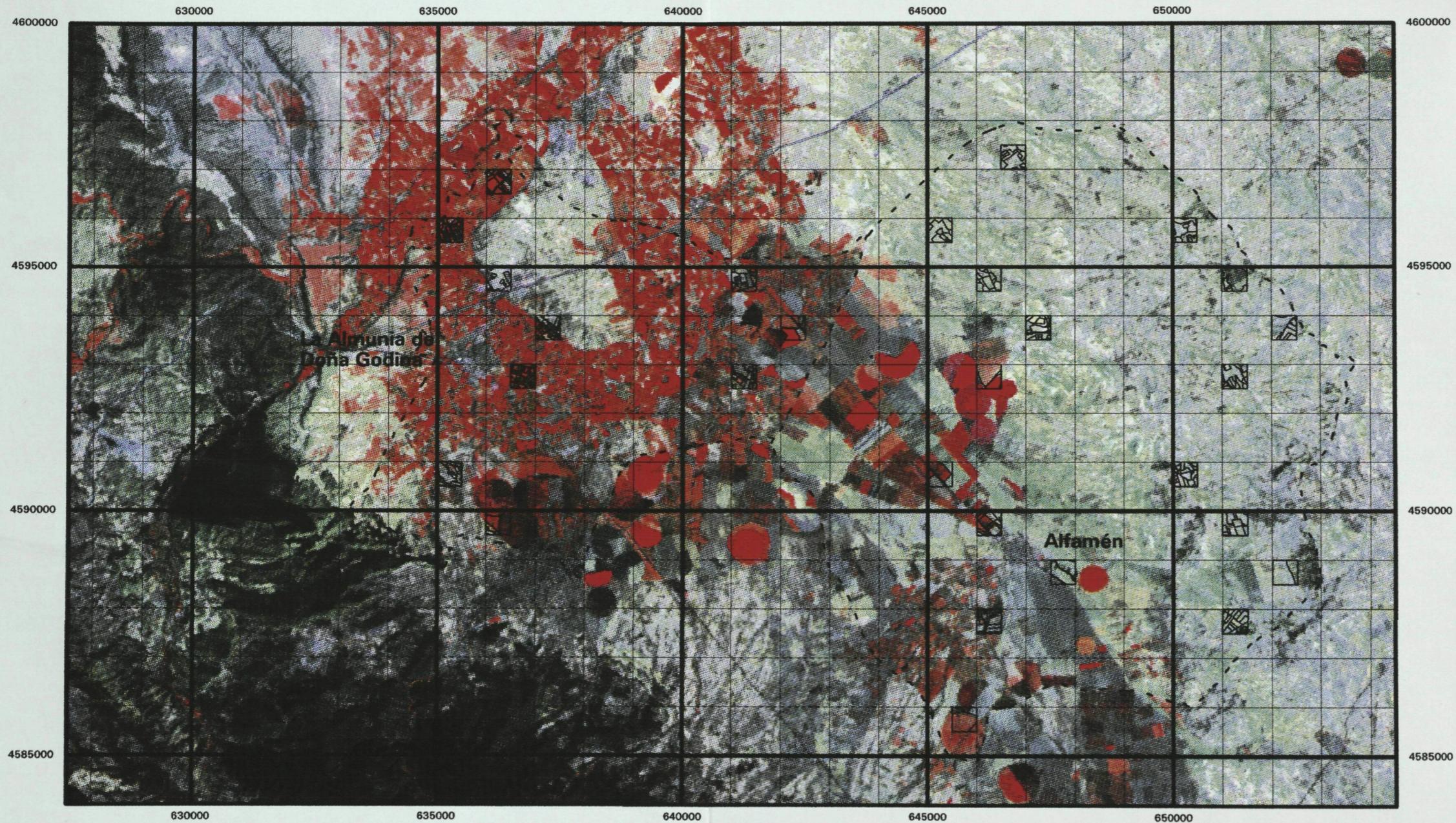
CANAL DEL FLUMEN	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Totales
Comunidad de Tardienta	1	-	35	242	76	145	262	179	108	6	-	-	1 054
Comunidad de Valfonda	-	-	24	189	49	130	205	144	68	-	-	-	809
Comunidad de Barbués	6	-	128	788	1 385	1 588	2 188	1 971	928	-	-	-	8 982
Comunidad de Torres de Barbués	-	-	198	550	201	627	1 088	843	371	1	-	-	3 879
Comunidad de Almuniente	37	-	412	1 221	556	1 158	1 809	1 475	655	-	-	12	7 335
D. Fernando Susin Hernández	-	-	-	56	5	85	65	60	25	-	-	-	296
Comunidad de Grañén	35	8	498	1 374	1 345	2 125	3 121	2 614	1 203	-	-	17	12 340
Comunidad de Sangarrén	12	-	240	692	341	549	1 061	871	348	2	-	-	4 116
Comunidad de Vicién	-	-	59	160	192	262	353	268	183	69	-	-	1 546
Comunidad de Buñales	-	-	34	82	-	34	37	14	2	-	-	-	203
Comunidad de Albero Bajo	-	-	25	148	225	288	381	342	150	-	-	-	1 559
Comunidad de Callén	5	6	430	623	851	1 401	1 709	1 569	805	48	6	25	7 478
Comunidad de Piracés	-	-	51	141	315	354	422	390	199	3	-	13	1 888
Comunidad de Tramaced	22	7	137	502	485	687	1 050	829	400	2	-	-	4 121
Comunidad de Fraella	-	-	19	20	10	38	70	50	24	1	-	-	232
Comunidad del Sector VII	258	66	1 469	1 982	1 475	3 127	4 281	3 614	2 069	230	14	8	18 593
Comunidad de Sodeto	131	1	522	939	593	893	1 217	1 074	605	3	10	5	5 993
Comunidad de Lalueza	65	2	295	327	356	674	870	752	436	-	1	5	3 783
Comunidad de Alberuela de Tubo	23	-	192	202	331	371	524	532	200	1	-	-	2 376
Comunidad de San Lorenzo de Flumen	164	-	1 349	1 640	1 747	2 548	3 395	3 012	1 441	80	5	54	15 435
Comunidad de Capdesaso	179	-	3 047	3 796	2 398	4 240	5 472	4 398	1 838	21	10	189	25 588
Sumas	938	90	9 164	15 674	12 936	21 324	29 580	25 001	12 058	467	46	328	127 606

Anejo VI

Tabla VI.3.- Volumen de agua de riego (miles de m³) facturada por la Confederación Hidrográfica del Ebro en el regadío de Flumen (Huesca) durante 1994.

CANAL DEL FLUMEN	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Totales
Comunidad de Tardienta	5	8	97	193	149	199	288	264	135	-	-	-	1 338
Comunidad de Valfonda	6	-	94	139	191	215	301	233	115	-	2	-	1 296
Comunidad de Barbués	68	-	527	759	1 979	2 116	2 467	2 310	803	-	-	-	11 029
Comunidad de Torres de Barbués	7	-	585	523	486	1 000	1 214	1 062	449	-	-	4	5 330
Comunidad de Almuniente	101	-	736	937	1 035	1 961	2 306	2 090	1 092	-	-	-	10 258
D. Fernando Susin Hernández	-	-	55	40	-	40	45	40	40	-	-	-	260
Comunidad de Grañén	176	14	870	1 098	2 180	2 946	3 441	3 031	1 180	6	15	35	14 992
Comunidad de Sangarrén	17	-	616	532	798	1 001	1 315	1 183	403	-	-	-	5 865
Comunidad de Vicién	4	31	76	269	578	527	582	489	295	-	-	-	2 851
Comunidad de Buñales	-	4	89	46	5	17	42	33	-	-	-	-	236
Comunidad de Albero Bajo	-	-	163	170	209	257	344	314	80	-	-	-	1 537
Comunidad de Callén	79	-	632	663	1 385	1 650	1 893	1 751	674	-	36	20	8 783
Comunidad de Piracés	4	-	86	215	467	486	547	486	176	-	3	3	2 473
Comunidad de Tramaced	51	13	323	402	613	876	1 178	1 011	374	-	-	-	4 841
Comunidad de Fraella	3	-	46	22	34	33	46	37	13	-	1	-	235
Comunidad del Sector VII	543	148	1 268	1 503	3 118	3 963	4 663	4 486	2 298	4	20	35	22 049
Comunidad de Sodeto	160	13	627	643	1 112	1 368	1 494	1 352	705	3	11	2	7 490
Comunidad de Lalueza	63	27	369	328	582	790	825	732	376	-	-	-	4 092
Comunidad de Alberuela de Tubo	47	-	181	216	471	472	632	560	268	-	-	-	2 847
Comunidad de San Lorenzo de Flumen	285	146	1 405	1 472	2 733	3 440	3 960	3 459	1 763	22	81	20	18 786
Comunidad de Capdesaso	1 090	246	3 505	2 806	2 991	6 165	6 649	6 139	2 294	6	15	61	31 967
Sumas	2 709	650	12 350	12 976	21 116	29 522	34 232	31 062	13 533	41	184	180	158 555

Anejo VII.- Mapas



Mapa 1: Esquema del muestreo por marco de áreas en La Almunia de Doña Godina y Alfamén (Zaragoza), superpuesto a una imagen Landsat TM.

Unidad de Suelos y Riegos
 Servicio de Investigación Agroalimentaria
 Diputación General de Aragón

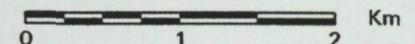
Casterad Seral, M^a A. 1997. Teledetección y aforo de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada por polígono de riego. Tesis doctoral. E.T.S.E.A. Universidad de Lleida.

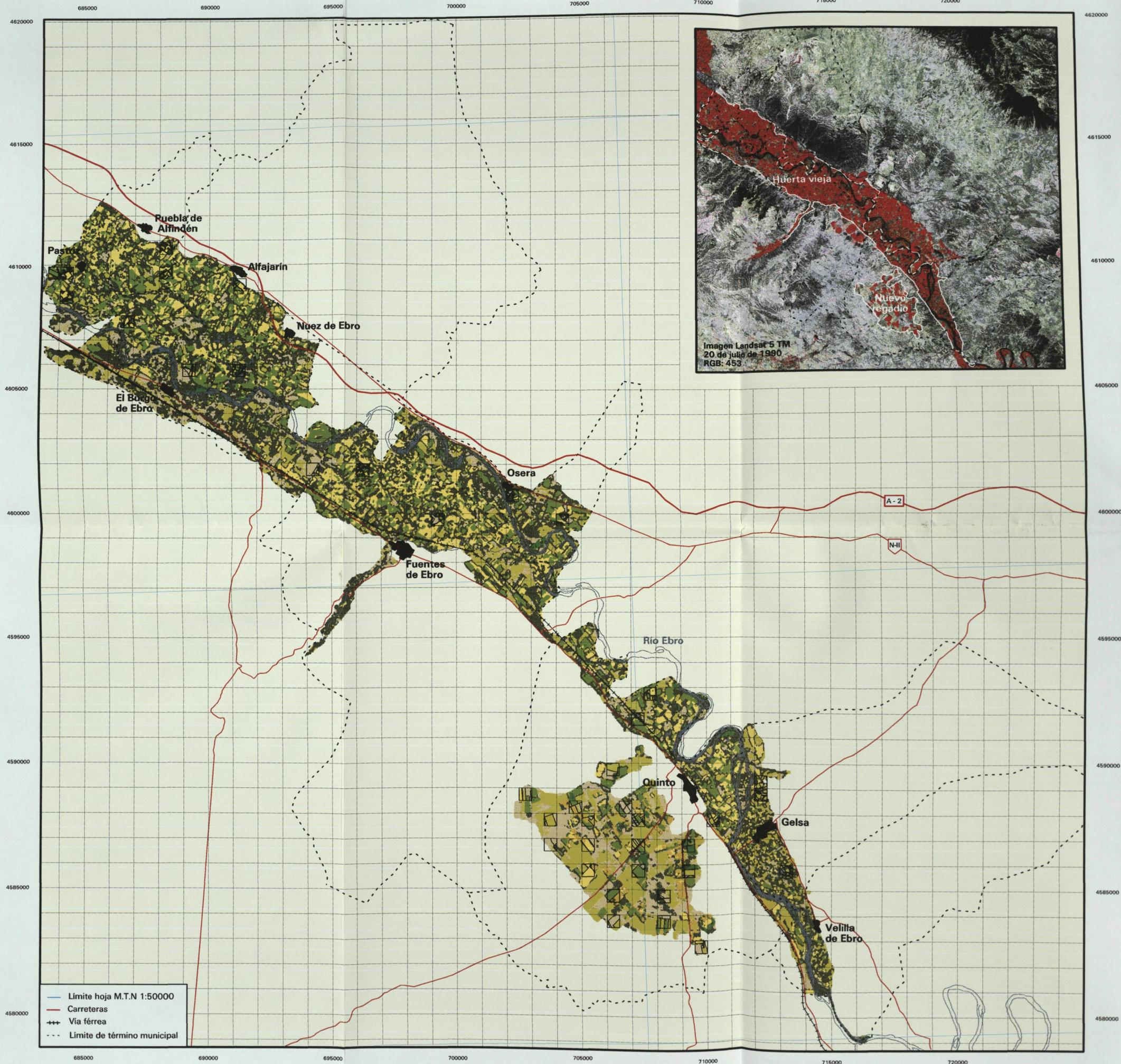
Muestreo sistemático aleatorio por bloques
 Unidad de muestreo: segmento de 500 m x 500 m
 Tamaño del bloque: 5 km x 5 km
 N^o de segmentos por bloque: 4
 N^o de segmentos muestreados: 31
 Tasa de muestreo: 4.9%

Composición falso color 4-5-3 de la imagen Landsat 5 TM del 28 de mayo de 1994.

Coordenadas UTM. Zona 30T

Escala 1:100000





Mapa 2: Clasificación supervisada de la Huerta Vieja de diez términos ribereños del Ebro y del Nuevo Regadío de Quinto (Zaragoza) y verdad terreno utilizada en la selección de áreas de entrenamiento.

Unidad de Suelos y Riegos
 Servicio de Investigación Agroalimentaria
 Diputación General de Aragón

Casterad Seral, M^a A. 1997. Teledetección y aforo de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada por polígono de riego. Tesis doctoral. E.T.S.E.A. Universidad de Lleida.

Huerta Vieja

Muestreo aleatorio simple de la cuadrícula U.T.M. de 1 km x 1 km en cada hoja del M.T.N. 1:50000
 Unidad de muestreo: segmento de 500 m x 500 m
 Nº de segmentos muestreados: 20
 Tasa de muestreo: 3.2%

Nuevo Regadío de Quinto

Muestreo sistemático de la cuadrícula U.T.M. de 1km x 1km
 Unidad de muestreo: segmento de 500 m x 500 m
 Nº de segmentos muestreados: 19
 Tasa de muestreo: 14.7%

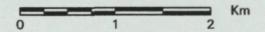
Clasificación

Clasificación supervisada de la imagen Landsat 5 TM del 20 de julio de 1990 por criterio de máxima verosimilitud. Filtro 3 x 3 de mayoría

LEYENDA

- Alfalfa
- Frutales
- Cereal de invierno (rastrajo)
- Girasol
- Maíz
- Sin cultivo
- Vegetación de ribera
- Otras ocupaciones
- Agua

Escala 1: 100000



Coordenadas UTM. Zona 30T

(043) v 1997 CAS

1600121617x

Universidad de Lleida
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria



27 MAIG 1997

E: 2348 S:

**Teledetección y aforo de superficies de cultivos en
pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada
por polígono de riego.**



Memoria que presenta M^a Auxiliadora Caslerad Seral
para optar al grado de Doctora

Director de Tesis: Dr. Juan Herrero Isern

Zaragoza, mayo 1997

Mo_56260

Mapa 3: Cultivos y otras ocupaciones del regadío de Flumen (Huesca) en 1994.

Unidad de Suelos y Riegos
Servicio de Investigación Agroalimentaria
Diputación General de Aragón

Casterad Seral, M^a A. 1997. Teledetección y aforo de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones para estimar el agua aplicada por polígono de riego. Tesis doctoral. E.T.S.E.A. Universidad de Lleida.

Obtenido por combinación de dos clasificaciones supervisadas multitemporales (una con los cultivos y ocupaciones de primavera y otra con los de verano) de dos imágenes Landsat 5 TM (28 de mayo y 29 de junio) por el criterio de máxima verosimilitud y umbral de clasificación del 95%. Filtro 3 x 3 de mayoría.

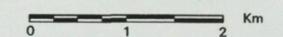


— Carreteras - - - - - Vía férrea - - - Límite de término municipal

LEYENDA

- Arroz
- Alfalfa+forrajera
- Cereal de invierno
- Girasol
- Maíz
- Sin cultivo
- Pinos
- Otras ocupaciones

Escala 1:100000



Coordenadas UTM. Zona 30T

