

DISCRIMINACION Y CUANTIFICACION DE USOS DEL SUELO Y REGADIOS EN LA CUENCA DEL DUERO POR TELEDETECCION

R. Escudero Barbero

TRAGSATEC. Avda. Ciudad de Barcelona, 118-124. 28007 Madrid. Tfno: (91) 396 34 63; Fax: (91) 396 34 10

P. Pérez de los Cobos

M.A.P.A., Secretaría Gral. de Desarrollo Rural y Conservación de la Naturaleza, Dirección Gral. de Planificación Rural y del Medio Natural. Pº de la Castellana, 112; 28045 Madrid. Tfno: (91) 347 18 17; Fax: (91) 411 37 70

RESUMEN.- La presente comunicación es un resumen del Estudio: *Uso Actual de la tierra en la Cuenca del Duero con especial aplicación a las tierras de regadío* realizado por el M.A.P.A., a partir del análisis digital de imágenes LANDSAT TM de 1993.

La Cuenca del Duero (7.890.210 ha) es, después de la del Ebro, la 2ª más grande de España con una superficie estimada de regadío que alcanza casi las 400.000 ha, (5% del total).

El presente Estudio ha cumplido dos objetivos básicos: (i) La generación de una cartografía actualizada de usos del suelo a escala 1:400.000, y, (ii) la estimación de superficies de los principales cultivos en regadío y métodos de riego, empleando el método del marco de área y estimador por regresión. Ambos datos, son necesarios para el cálculo preciso de dotaciones de agua en los trabajos de planificación hidrológica.

ABSTRACT.- This paper is a summary of the Study: *Updated Land Use in the Duero Basin with a special application to irrigated crop types* carried out by the Ministry of Agriculture using digital analysis of 1993 LANDSAT TM imagery.

The Duero Basin (7.890.210 ha) is, after the Ebro, the second largest basin in Spain with an estimate of almost 400.000 ha. of irrigated land (5% of the total).

The Study has full filled two main objectives: (i) The generation of an updated 1:400.000 scale Land Use Map, and, (ii) estimating the acreage of the main irrigated crop types and irrigation methods using the area frame sampling and regression methodology. Both types of data, are very important in order to calculate, with a high degree of accuracy, the irrigation requirements needed for hydrological planning.

1.- INTRODUCCION

En el Duero, al igual que en el resto de las cuencas españolas, el conocimiento ajustado de las dotaciones y demandas de riego constituye una materia de especial interés ya que, como se sabe, la demanda de riegos supone del orden del 80% de las demandas consuntivas totales y el regadío genera aproximadamente el 50% de la producción total agrícola (Luján et. al., 1992).

En la última década, la Teledetección se ha convertido en una tecnología operativa para el seguimiento, evaluación y planificación en el campo de la estimación de superficies agrícolas. Desde finales de los setenta el Servicio de Estadística del Departamento de Agricultura americano (Hanuschack et. al., 1980; Mergerson et. al., 1982) utiliza imágenes LANDSAT

para la estimación de superficies en los principales estados cerealistas. Con este objetivo, se desarrollaron los dos programas pioneros en Teledetección y Estadística Agraria - LACIE "Large Area Crop Inventory Experiment" y AgRISTARS "Agriculture and Resources Inventory Surveys through Aerospace R. S."-, logrando con ello reducir tanto la varianza como el coste económico de las estimaciones convencionales por marco de área. El primer programa operativo en Estados Unidos para la estimación de superficies en regadío que incorpora imágenes de satélite, se desarrolla en California a principios de los ochenta (Wall et. al.,1984).

La utilización de la Teledetección en el marco de la política agraria común (PAC) es relativamente reciente. Los primeros trabajos comienzan en 1987 dentro de la colaboración entre la DG VI, el Centro Común de Investigación y Eurostat que alumbró el Proyecto MARS "Monitoring Agriculture with Remote Sensing". Una interesante relación de los logros y limitaciones del mismo puede verse en Delincé et. al. (1994).

Con la reforma de la PAC, en 1992, la aplicación de la Teledetección dentro de las actividades de la DG VI se ha incrementado notablemente, no solo en el campo de las estadísticas agrarias, sino también, en el control de la gestión de las ayudas pagadas a los agricultores (De Winne, 1994).

En España, los Servicios Oficiales de Estadística Agraria iniciaron en 1990 el proceso de construcción de un marco de áreas en el que basar el mayor número posible de sus encuestas. Anteriormente, casi todas las estadísticas oficiales agrarias se basaban en censos, encuestas no probabilísticas, estimaciones de experto o datos administrativos (Ambrosio y Gallego, 1995).

La puesta en marcha de los Planes Hidrológicos de Cuenca y el Plan Nacional de Regadíos, han acelerado considerablemente el uso de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, como tecnologías para la cuantificación y seguimiento de las zonas de regadío, ante la necesidad imperiosa de contar con un procedimiento eficiente y "objetivo" de gestión del agua de consumo agrícola. En este marco, el M.A.P.A. viene realizando, en los últimos años, estudios similares al que aquí se presenta para el conjunto de las cuencas hidrográficas.

2.- DESARROLLO DEL TRABAJO

Para la realización del trabajo se adquirió una cobertura completa de la Cuenca del Duero LANDSAT TM en Julio-Agosto de 1993 que fue corregida geométricamente a nivel 2.

Como información de verdad terreno se han utilizado dos muestras: la *Encuesta de Superficies Agrícolas del M.A.P.A.*, con una tasa de muestreo del 1,5% para el conjunto de la Cuenca, y una muestra realizada ex-profeso sobre las zonas regables, con una tasa del 3%. El trabajo de campo para ésta última se realizó en Agosto de 1993.

El esquema del desarrollo metodológico del trabajo puede verse en la **Figura 1**.

2.1.- Cartografía de los Usos Primordiales de la Tierra.

La definición de las clases de usos primordiales se realizó en dos etapas. Primeramente, se generó una salida gráfica a escala 1:250.000, fruto de la readaptación de la leyenda del mapa de Coberturas del Suelo CORINE a la clasificación de tierras de la FAO definida en su *Boletín de Suelos n° 32: Esquema para la evaluación de tierras*, integrada por las siguientes clases: zonas en secano, regadío, forestal, prados-pastizales e improductivos.

A continuación, esta salida se superpuso al mosaico de imágenes LANDAST TM para su actualización por interpretación visual.

Para la estimación de la fiabilidad del mapa resultante a escala 1:400.000 se utilizaron

técnicas de muestreo, seleccionándose una submuestra de 1.612 segmentos de la *Encuesta de Superficies Agrícolas del MAPA de 1993*.

Para cruzar los segmentos con el Mapa de Usos se recodificó la leyenda de los segmentos a la del Mapa, para poder asignar cada segmento a una clase de usos determinado, dada la diferencia de escala entre las dos informaciones. El criterio seguido para ello fue el de seleccionar la clase mayoritaria de cada segmento siempre y cuando ésta tuviera una extensión mayor al 50%.

Destacan las altas precisiones cartográficas obtenidas en las tres clases agrícolas: secano, regadío y forestal, todas ellas por encima del 80%, así como las menores de improductivos y prados-pastizales, entorno al 60%. Esta menor precisión es indicativa de la diferente conceptualización que estas clases tienen en los segmentos de la *Encuesta de Superficies*, donde son definidas como "usos del suelo", y en los mapas temáticos de referencia (CORINE/FAO), donde son tratadas como "coberturas del suelo".

Por su parte, la clase "Zonas en regadío" del mapa final se utilizó para la definición de la muestra estratificada en la estimación de superficies en regadío de los principales cultivos.

2.2.- Estimación de superficies en regadío y métodos de riego

Como es conocido, la integración de la Teledetección en el método del marco de área está basada en el empleo de clasificaciones de imágenes de satélite para la discriminación espectral y cuantificación de superficies cuyos resultados son utilizados para la realización de una regresión sobre los datos de expansión directa iniciales, con el fin de conseguir una mejora en la precisión de las estimaciones o bien alternativamente una reducción de la muestra manteniendo la precisión de la estimación (AMBROSIO, 1993). Otra importante aportación de la Teledetección es la mejora que ofrece en las labores de estratificación a la hora de definir la muestra de campo.

• Definición de la muestra

La *Encuesta de Superficies del M.A.P.A.*, con una tasa de muestreo del 1,5%, repartida sistemáticamente sobre el conjunto de la Cuenca, resultaba totalmente insuficiente para la estimación de superficies en regadío. Su peculiar distribución espacial aconsejaba el diseño de una muestra estratificada específica sobre las zonas regables que permitiera aumentar la tasa de muestreo, a la vez que optimizar los elevados costes de la campaña de campo. La superposición del Mapa de Usos Primordiales sobre la cobertura de imágenes LANDSAT TM ayudó a dividir la Cuenca en tres estratos: dos de regadío y uno de secano.

La muestra utilizada en el Estudio para la estimación de superficies en los principales cultivos en regadío y métodos de riego es el resultado de la integración de dos muestras independientes:

a) Muestra sobre los estratos de regadío: Se trata de una muestra de áreas de carácter aleatorio compuesta por dos estratos, cuya tasa de muestreo es del 3%. La encuesta se realizó durante el mes de Agosto de 1993. El estrato 1 engloba la totalidad de las zonas regables del Estado y en general los regadíos localizados a lo largo del cauce de los ríos donde la parcelación es muy grande, razón por la que se decidió tomar un tamaño de segmento de 25 ha. El estrato 2 engloba las zonas de mayor densidad de regadíos por aguas subterráneas, concentrados fundamentalmente en la extensa zona de La Moraña, al SW de la Cuenca. En función del carácter disperso del regadío y del mayor tamaño de las parcelas se decidió que el tamaño del segmento fuera el habitual empleado por el M.A.P.A. de 49 ha.

b) Muestra sobre el conjunto de la Cuenca: Se trata de una muestra completamente

independiente de la anterior y constituye el estrato 3 del Estudio. Está integrada por la *Encuesta de superficies cultivadas del M.A.P.A.* de 1993 que es, como se sabe, una muestra de área de carácter sistemático, con una tasa de muestreo del 1,5% y segmentos de 49 ha. (Ambrosio y Gallego, 1995).

Integrando las dos muestras, la superficie total muestreada es de 151.548 ha., repartida en 2.009 segmentos, lo que supone un 4,5% sobre la población y un 1,92% sobre el conjunto de la Cuenca.

• **Proceso de clasificación multispectral de imágenes.**

El proceso de clasificación se realizó de forma estratificada, con el apoyo de los mapas CORINE, mediante la ejecución en cascada de dos clasificaciones. La primera, un ISODATA de 100 clases, para la generación de la máscara de regadío. En la segunda clasificación se procedió a la discriminación de los diversos cultivos en regadío, probándose métodos supervisados y automáticos. Para ello se ejecutó un segundo ISODATA de 50 clases y un Clasificador de Máxima Probabilidad.

USOS y CULT.	C. AUTOMÁTICA (%)		C. SUPERVISADA (%)	
	PC	PI	PC	PI
Maíz	36	64	37	48
Forrajeras	25	57	38	44
Remolacha	68	82	41	84
Girasol	7	45	22	12
Fronchosas	22	61	27	34
Otros cul.min.	4	51	6	40
REGADIO	87	87	86	87
NO REGADIO	36	74	51	63
Sin asignar	14			

Tabla I.- Comparación de Precisiones entre clasificaciones

La evaluación de ambos se realizó mediante la construcción de las Matrices de Contingencia, recodificando los usos de los segmentos de campo a una determinada nomenclatura de resultados, que agrupa los principales cultivos de regadío en función de su demanda de agua. Se obtuvieron, por tanto, dos resultados de clasificación - por clasificación automática (CA) y supervisada (CS) - a partir de los cuales se realizó el ajuste por regresión de las superficies estimadas por Expansión Directa (ED).

Los resultados obtenidos en las matrices de Precisión Cartográfica (PC) y de Identificación (PI), tal y como aparecen en la **Tabla I**, muestran que no hay una diferencia significativa entre los dos métodos de clasificación, obteniéndose los mejores resultados para la remolacha, cultivo mayoritario, y los peores en los minoritarios como girasol u otros.

Es de destacar que si bien las precisiones obtenidas en la discriminación del regadío, con respecto al resto de usos, es bastante alto ($> = 86\%$), sin embargo, éstas son en general mucho más bajas en la identificación de los usos y cultivos concretos, especialmente la Precisión Cartográfica (PC). Esto es, sin duda, consecuencia de la similitud de sus calendarios fenológicos, y por tanto, de las inevitables confusiones espectrales entre ellos. Finalmente, los resultados de la clasificación por ISODATA se montaron sobre imágenes analógicas a escala 1:100.000.

● **Proceso de estimación de superficies.**

Todos los cálculos estadísticos del trabajo se han realizado por estratos, tratando las dos muestras de campo utilizadas de forma independiente.

El proceso conlleva, en primer lugar, el cálculo de superficies por Expansión Directa (ED) y, en segundo, el ajuste de regresión a partir de los resultados de las dos clasificaciones de imágenes ejecutadas (CA y CS)

a) **Expansión Directa.** Esta primera estimación de superficies se obtiene a partir exclusivamente de los datos de las dos muestras de campo, una para el conjunto de la Cuenca y otra para los estratos de regadío. Posteriormente ambas estimaciones se integraron para obtener una única Expansión Directa.

Por su parte, las estimaciones de las superficies anegadas por los distintos métodos de riego (aspersión, gravedad, etc) fueron obtenidas por ED de la muestra de los estratos de regadío.

b) **Ajuste por regresión.** Se realizó mediante la comparación de los datos de campo de las dos muestras con los obtenidos por Teledetección (CA y CS).

Las dos estimaciones por regresión obtenidas - regresión por clasificación automática (RCA) y por clasificación supervisada (RCS) se enfrentaron a la primera de Expansión Directa (ED) a través del análisis de las eficiencias relativas.

USOS Y CUL.	EFICIENCIA RELATIVA		
	RCA/ED	RCS/ED	RCA/RCS
Maíz	2,41	1,94	1,24
Forrajas	0,99	1,49	0,67
Remolacha	3,39	2,57	1,32
Girasol	0,93	0,85	1,08
Fronosas	2,05	1,85	1,10
Otros cul.min.	1,17	0,88	1,33

Tabla II.- Comparación de las eficiencias relativas.

La eficiencia relativa RCA/RCS es mayor a la unidad para el conjunto de los cultivos en regadío, excepto las Forrajas. Asimismo, las eficiencias relativas de los dos clasificadores con respecto a ED son en general bastante altas, llegando a ser para la remolacha, cultivo mayoritario, de 3,39. Aunque las diferencias entre las eficiencias relativas de los estimadores por RCA y RCS son pequeñas, puede observarse que el primero es ligeramente mejor que el segundo, lo que es corroborado por el análisis de los parámetros de regresión. Todo ello indica que la regresión por RCA es una mejor aproximación a la realidad, por lo que fue ésta la empleada para el cálculo de las estimaciones finales de superficies.

● **Resultados.**

La estimación final de las superficies ocupadas por los cultivos de regadío se realizó mediante la unión de las estimaciones más fiables para cada uno de los usos ya que éstas se han considerado de forma independiente. Cuando la eficiencia relativa es ≥ 2 se han tomado los valores obtenidos por RCA (maíz, remolacha y frondosas), conservándose la estimación por ED cuando no se cumple este criterio (forrajas, girasol y otros cultivos minoritarios). Para el cereal, que es el cultivo mayoritario en regadío de la Cuenca, tan solo se disponía de la estimación obtenida por ED a partir de la *Encuesta de Superficies del*

M.A.P.A., ya que la encuesta de campo sobre los estratos de regadío se realizó durante el mes de Agosto, momento en el que en Castilla está ya levantado.

USOS Y CUL.	Sup. (Ha.)	%	C.V. (%)	Procedencia
Maíz	46.790,35	0,59	10,70	RCA
Cereal	95.606,98	1,21	3,58	ED
Forrajeras	59.384,50	0,75	4,89	ED
Remolacha	94.604,35	1,20	2,74	RCA
Girasol	36.162,14	0,46	6,96	ED
Fronosas	30.186,75	0,38	7,20	RCA
Otros cul.min.	32.475,35	0,41	6,36	ED
REGADIO	395.210,42	5,01	1,9 a 2,5	

Tabla III.- Estimación final de superficies de regadío en la Cuenca del Duero (1993)

Siguiendo la misma metodología descrita, se realizaron estimaciones de superficies para las doce Juntas de Explotación Hidrológicas de Cuenca (JEH), para las provincias y para el conjunto de las Zonas Regables del Estado. La precisión de las estimaciones son lógicamente más bajas al disminuir la población. Los coeficientes de variación van, en las JEH, desde un 6% en el Orbigo a un 25% en Agueda.

3.- CONCLUSIONES

- La estimación final de superficies de regadío de la Cuenca del Duero obtenida por regresión de los datos de Teledetección para 1993 (395.210 ha con un CV de 1,9%) mejora en precisión a la inicial de Expansión Directa cuyo CV se situaba en el 2,5%. Esta mejora en la estimación permitirá en un futuro actualizar el inventario de regadíos disminuyendo la muestra actual (4,5% en las zonas regables) a la vez que se mantienen las precisiones alcanzadas.
- La integración en este Estudio de la *Encuesta anual de superficies del M.A.P.A.* ha resultado de gran utilidad por dos razones fundamentales: (i) ha permitido obtener una estimación para el cereal de regadío (95.607 ha. y un cv del 3,5%) sin el coste adicional de una cobertura de imágenes de primavera. (ii) Ha contribuido a aumentar en 1,5% la eficiencia del muestreo en las zonas regables.
- La utilización del Mapa de Coberturas del Suelo CORINE ha resultado, asimismo, de gran utilidad a la hora, no solo de la elaboración del Mapa de Usos Primordiales, sino en las labores de estratificación de las imágenes y del diseño de la muestra de campo.
- Es de destacar la dificultad que entraña la discriminación espectral de los distintos usos y cultivos de verano en regadío, lo que se pone de manifiesto en las bajas precisiones cartográficas obtenidas (ver Tabla I). Ello es consecuencia de la similitud de sus calendarios fenológicos y de las inevitables confusiones espectrales generadas. Esta limitación no parece fácil de solventar ante la dificultad para disponer de imágenes en fechas adicionales, en las que las firmas espectrales tiendan a separarse.
- Los dos métodos de clasificación multiespectral empleados no presentan diferencias significativas, aunque la regresión a partir de la clasificación automática arroja una mejor precisión en la estimación de superficies.

4.- REFERENCIAS

- Ambrosio, L., Alonso, R., Villa, A. 1993. Estimación de superficies cultivadas por muestreo de áreas y Teledetección. *Estadística Española*, vol. 35; p. 91-103.
- Ambrosio, L. y Gallego, F.J. 1995. Encuestas Agrícolas en España basadas en un marco de áreas; en Wallace, A. et. al. 1995. *Multiple frame agricultural surveys: agricultural surveys based on area at list sampling methods*. FAO, Statistical Development. Series n° 7.
- Delincé, J., Gallego, F.J., Taylor, J.C. 1994. Des inventaires régionaux au contrôle de la réforme de la politique agricole commune. *The MARS Project: overview and perspectives. Proceedings*. JRC European Commission EUR 15599; p. 93-101.
- De Winne P. 1994. Les besoins de la Direction Générale VI Agriculture. *The MARS Project: overview and perspectives. Proceedings*. JRC European Commission EUR 15599; p. 17-22.
- Hanuschac G. et. al. 1980. Obtaining timely crop area estimates using ground-gathered and Landsat data. *Economics and Cooperatives Services*, USDA. Washington D.C.
- LACIE 1978. Proceedings of technical sessions. *The LACIE Symposium*. Houston, Texas.
- Luján, J., Rodríguez J., Menendez J. 1992. Dotaciones de riego máximas. *Ingeniería Civil* n° 85; p.126-144.
- Mergerson, J.W. et. al. 1982. Application of satellite R.S. for U.S. crop acreage estimation, 1980-81 results. *Sixteenth International Symposium on R.S. of Environment*. Buenos Aires.
- Wall S.W. et. al. 1984. Landsat based inventory system for agriculture in California. *Remote Sensing of Environment* 14; p. 267-278.

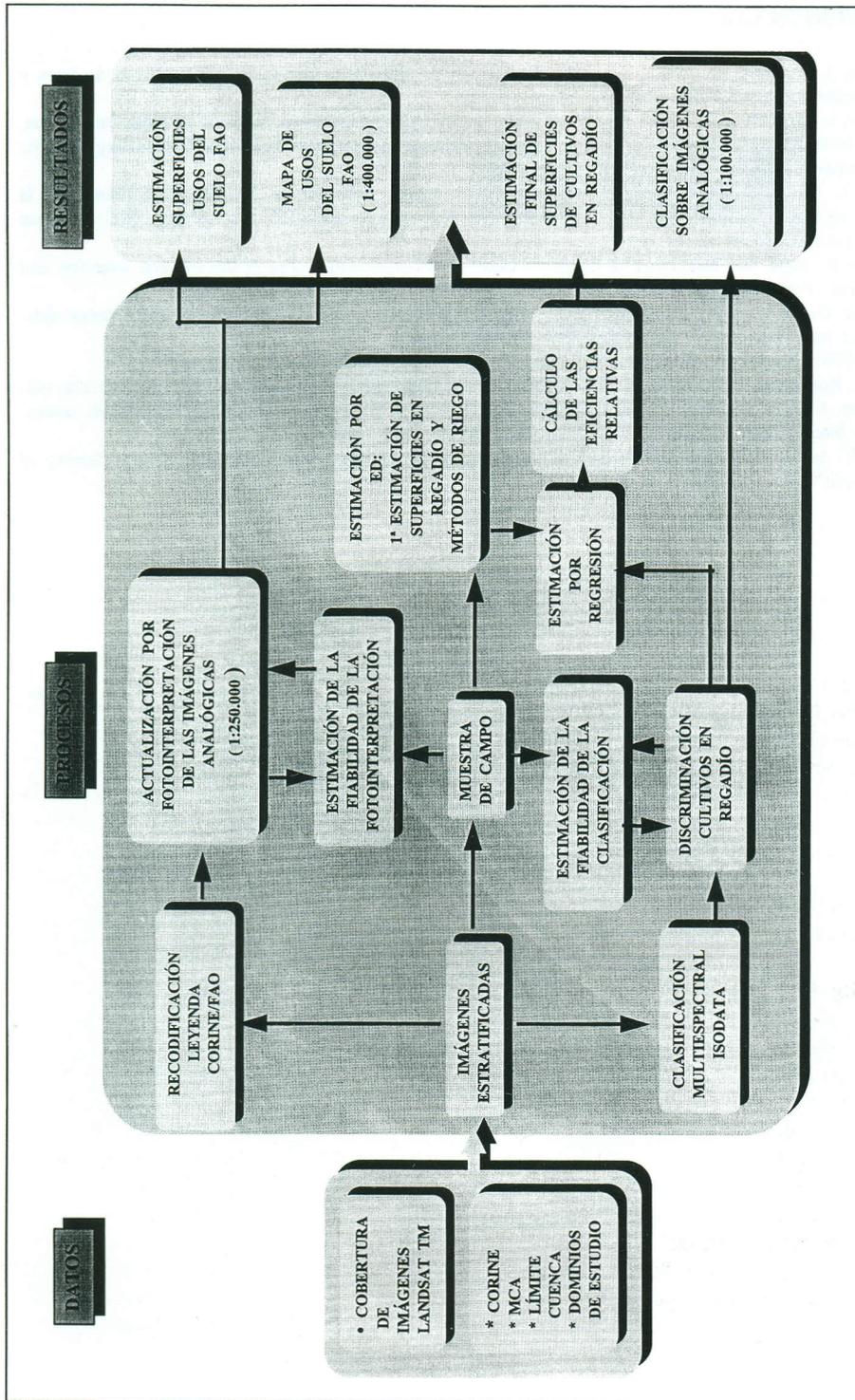


Figura 1.- Desarrollo metodológico