

ESTADÍSTICA DE CULTIVOS DE REGADÍO Y DETECCIÓN DE CAMBIOS EN LA CUENCA DEL GUADIANA

Salvador López Soria *, José Ignacio Sánchez Sánchez-Mora **,
Pedro Pérez de los Cobos ***

* Area de Teledetección y SIG, Informes y Proyectos S.A. (INYPSA)

** Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Dirección Provincial de Cáceres.
Actualmente: Servicio de Regadíos. D.G. Estructuras Agrarias, Consejería de Agricultura y Comercio,
Junta de Extremadura

*** Dirección General de Planificación y Desarrollo Rural, Ministerio de Agricultura, Pesca y
Alimentación

Palabras Clave: TM Landsat, regadíos, estadística de cultivos, ocupación del suelo, estimador de regresión

Resumen. El objetivo del estudio es la cartografía y cuantificación de los Usos Primordiales del Suelo en la cuenca y de los cultivos en los estratos de regadío. Se utilizan técnicas de análisis visual asistido por ordenador y de clasificación supervisada con muestreo de segmentos en campo junto con algoritmos de estimación directa y por regresión. Además, dadas las especiales características hidrológicas del año en estudio se realiza un análisis por detección de cambios para determinar zonas sin regar pero con infraestructura de regadío, dato básico para ajustar la clasificación final y los segmentos observados en campo en la estimación por regresión final.

1. Introducción y objetivos

Este estudio se enmarca dentro de los trabajos del Plan Nacional de Regadíos dependiente del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Forma parte de un conjunto de proyectos que abarcan la totalidad de las cuencas españolas. Los objetivos son:

1. Discriminación, clasificación, cuantificación y cartografía de los Usos Primordiales de la Tierra tal y como aparecen descritos en el boletín número 32 de la FAO. Esta discriminación se realiza a partir de imágenes del sensor TM del satélite Landsat y se edita en hojas a escala 1:400.000
2. Especial aplicación a las tierras en regadío, actuando sobre los principales cultivos y estimando por diversos métodos su superficie. Se

utilizan también imágenes Landsat TM, editando cartografía a escala 1:100.000

3. Dada la especial situación hídrica de la cuenca del Guadiana durante el periodo de realización del estudio, 1994, un objetivo adicional marcado por la Dirección del Proyecto se centra en el estudio de aquellos cultivos de regadío que se dan en la Cuenca del Guadiana en época de sequía. Se evalúa igualmente las superficies que, teniendo una infraestructura de regadío, no son regadas por las limitaciones de los recursos hídricos.

2. Clases primordiales de usos de la tierra

Se han utilizado dos juegos de escenas TM Landsat, uno de principios de agosto de 1990 y otro de finales de julio de 1994. La razón fundamental ya se ha indicado: la fuerte diferencia de recursos hídricos disponibles, que, por ejemplo, influye decisivamente en el perímetro de las zonas realmente regadas y en la superficie de las aguas embalsadas. El método de trabajo ha sido básicamente el análisis visual de un fotointérprete experto en imágenes TM, junto con recorridos en campo y el apoyo auxiliar de una clasificación no supervisada en una ventana del sistema de proceso de imágenes (Imagine-V8.2) unida en tiempo real a la ventana de fotointerpretación. El resultado de la fotointerpretación se comprueba de forma independiente con recorridos por la cuenca del Guadiana, tomando sistemáticamente muestras del uso primordial de la tierra observado en la realidad y cruzándolas con la clase fotointerpretada en el mapa. Se obtuvieron matrices de confusión y de

precisión geográfica y de identificación para cada itinerario, con un 91,47% de aciertos en los 293 puntos muestreados.

SUPERFICIES DE LOS USOS PRIMORDIALES DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL GUADIANA

Uso Primordial	Superficie ha
Tierra	
Secano	2.321.664,75
Secano + Pastizal	91.636,67
Secano + Matorral	17.711,10
Secano + Dehesa	432.890,71
Subtotal	2.863.903,23
Regadio	199.176,07
Secano + Regadio	248.658,89
Regadio+Secano	162.965,34
Subtotal	610.800,30
Pastizal	125.633,38
Pastizal+Matorral	23.650,48
Pastizal+Dehesa	6.046,29
Subtotal	155.330,15
Matorral	406.302,59
Matorral+Pastizal	90.243,77
Matorral+Forestal	358.281,90
Matorral+Dehesa	78.056,33
Subtotal	932.884,59
Forestal	456.461,15
Forestal+Matorral	66.647,83
Forestal+Dehesa	12.580,84
Subtotal	535.649,82
Dehesa	
Dehesa+Pastizal	91.190,82
Dehesa+Matorral	25.934,35
Dehesa+Forestal	2.981,33
Subtotal	120.106,50
Casco urbano	36.602,00
Embalses	32.765,00
Improduc.	2.482,00
TOTAL	5.290.843,59

3. Cultivos en regadío: cartografía y estimación de superficies

Se utilizan técnicas digitales de clasificación supervisada, tomando como base el año de realización de la encuesta sobre el terreno, 1994. Se diseña un muestreo aleatorio estratificado con unidades primarias de muestreo (PSUs). La tasa de muestreo se fija proporcionalmente a la densidad de los cultivos a investigar: en las zonas de regadío entre un 4% y un 5%, en las zonas de regadío más secano entre un 2% y un 3% y en las zonas de secano más regadío entre un 1% y un 1,5%.

Una vez verificada e informatizada la muestra, se procede a una primera estimación de superficies por expansión directa, según las distintas unidades administrativas contempladas y según los estratos de regadío ya definidos: Zonas Regables, Sistemas de Explotación, Juntas, Autonomías y Conjunto de la Cuenca.

Contando con estas estadísticas se calculan las probabilidades *a priori* para cada cultivo o grupo de cultivos. Igualmente se realiza un estudio detallado de las firmas espectrales de forma independiente para cada neo-estrato (intersección de los estratos definidos según el uso primordial de la tierra y el límite de cada imagen o cuarto de imagen). Así, la clasificación supervisada se realiza por neo-estratos, ajustándose mejor a las características espectrales locales en cada zona de estudio en la cuenca. Se generan alrededor de 130 clases espectrales que, de forma iterativa, se van agrupando en clases informacionales, en función de su separabilidad espectral y su importancia dentro de la cuenca del Guadiana. Se obtuvieron 18 clases informacionales (maíz, tomate, arroz, melón, girasol...), con una precisión global en las matrices de confusión superior al 82%.

Se añade una última clase, denominada 'no regado con infraestructuras' en la que se recogen todas aquellas parcelas de las que se tiene constancia de que fueron regadas en 1990 (un buen año en recursos hídricos) y que aparecen dentro del grupo de secano en la imagen de 1994. La detección de cambios se realiza por simple clasificación delta, apoyando la clasificación del año 1990 con el buen conocimiento de las zonas regables obtenido en la campaña de 1994, restringiendo además las clases de 1990 a regado o no regado exclusivamente.

La estimación de superficies por el método de regresión se efectúa a partir de los datos de campo obtenidos en los segmentos (recalculando la expansión directa para las 19 clases informacionales) junto con la clasificación supervisada para cada unidad administrativa contemplada. Aquí es fundamental la clase de 'no regado con infraestructuras' que obtiene un ajuste perfecto con los segmentos en campo, para los que en la base de datos muestral se define, además del cultivo, si está o no regado y cual es el método de riego empleado.

4. Análisis de resultados

Los resultados a nivel de cuenca fueron los siguientes:

Expansión por est. de regresión

Cuenca del R. Guadiana (ha)

Cultivos	S+R	R	R+S	Total
Tomate	.	17680,	.	17680,
Maiz	53,	6086,	1752,	7891,
Arroz	.	8772,	.	8772,
Alfalfa-prad.	.	4127,	1039,	5166,
Girasol	12153,	20557,	12284,	44993,
Peral	.	5359,	.	5359,
Melocotón	.	2776,	.	2776,
Otros frutales	280,	1967,	1076,	3324,
Pimiento	.	871,	28,	899,
Melón	4303,	2206,	4990,	11499,
Otros hort.	806,	1516,	1457,	3778,
Espárrago	.	859,	5,	864,
Remolacha	680,	2512,	1228,	4420,
Viña	85833,	4763,	37558,	128153,
Arbolado rib.	558,	4827,	156,	5542,
Otros	49792,	41735,	12039,	103567,
No reg.+infrs.	20388,	70558,	33777,	124721,
Secano	130034,	21067,	51036,	202137,
Agua	.	921,	.	921,

Las columnas encabezadas por 'R', 'R+S' y 'S+R' hacen referencia a las hectáreas que de cada clase se localizan en los estratos de regadío, regadío más seco y seco más regadío.

La eficacia relativa es un índice que permite comparar la mejora en la varianza de la estimación que se produce al pasar de la expansión directa a la expansión por regresión. Así la estimación realizada por regresión sobre el maíz es siete veces más precisa que la estimación realizada por expansión directa:

Eficacia relativa en tanto por uno

Cuenca del R. Guadiana

Cultivos	S+R	R	R+S	Total
Tomate	.	3,7	.	3,7
Maiz	1,	11,7	1,2	7,1
Arroz	.	12,	.	12,
Alfalfa-prad.	.	4,3	20,1	8,6
Girasol	2,9	2,	3,6	2,9
Peral	.	6,8	.	6,8
Melocotón	.	5,6	.	5,6
Otros frutales	27,1	2,	33,4	3,4
Pimiento	.	4,3	4,7	4,5
Melón	1,5	11,4	28,	11,6
Otros hort.	1,	1,2	1,9	1,3
Espárrago	.	1,	1,	1,
Remolacha	1,7	1,6	1,2	1,6
Viña	5,8	4,1	1,7	4,8
Arbolado rib.	1,	1,6	1,	1,6
Otros	2,	1,8	2,	2,
No reg.+infrs.	1,1	1,5	1,2	1,1
Secano	2,7	2,	1,1	2,3
Agua	.	7,	.	7,

En algunos cultivos no se produce mejora alguna, como en el caso del espárrago, o bien esta mejora es pequeña, como en el caso de la remolacha en el estrato 'R+S', que alcanza sólo un 20% de mejora. Una eficacia relativa de sólo 2,9 como en el caso del girasol significa que se ha mejorado la precisión en un 290 % con respecto al uso exclusivo de segmentos sin apoyo de teledetección.

El coeficiente de variación (C.V.) permite comparar la medida de la varianza de una estimación con la superficie estimada:

C. Variación para est. por expansión directa

Cuenca del R. Guadiana

Cultivos	S+R	R	R+S	Total
Tomate	11%	11%	.	11%
Maiz	100%	23%	46%	21%
Arroz	.	19%	.	19%
Alfalfa-prad.	.	24%	53%	25%
Girasol	41%	13%	29%	18%
Peral	.	26%	.	26%
Melocotón	.	29%	.	29%
Otros frutales	100%	23%	74%	24%
Pimiento	.	40%	99%	42%
Melón	44%	27%	39%	24%
Otros hort.	53%	23%	40%	20%
Espárrago	.	100%	100%	99%
Remolacha	100%	28%	43%	32%
Viña	16%	34%	15%	12%
Arbolado rib.	32%	23%	62%	20%
Otros	25%	8%	19%	13%
No reg.+infrs.	45%	5%	19%	9%
Secano	12%	12%	10%	8%
Agua	.	42%	.	42%

C. Variación para estimador por regresión

Cuenca del R. Guadiana

Cultivos	S+R	R	R+S	Total
Tomate	.	6%	.	6%
Maiz	100%	8%	26%	9%
Arroz	.	6%	.	6%
Alfalfa-prad.	.	14%	35%	13%
Girasol	32%	7%	14%	10%
Peral	.	8%	.	8%
Melocotón	.	10%	.	10%
Otros frutales	36%	23%	3%	14%
Pimiento	.	12%	428%	18%
Melón	11%	10%	7%	6%
Otros hort.	50%	25%	26%	18%
Espárrago	.	94%	100%	94%
Remolacha	114%	17%	22%	21%
Viña	7%	15%	9%	6%
Arbolado rib.	32%	18%	33%	16%
Otros	17%	6%	15%	9%
No reg.+infrs.	43%	4%	19%	9%
Secano	7%	9%	10%	5%
Agua	.	16%	.	16%

Cuanto mayor sea la superficie ocupada por el cultivo, su C.V. tiende a ser menor. Inversamente, cultivos poco representados en la cuenca tienden a tener valores altos como en el caso del espárrago o del pimiento. Este cultivo, que tenía un C.V. de 42% en la estimación por expansión directa, mejoró notablemente al utilizar técnicas de clasificación supervisada y expansión por regresión, pasando a un 18%. El C.V. del total de la superficie realmente regada en la cuenca del Guadiana en 1994 (estimada por regresión en 145.024 ha) fue de sólo un 2,63%, con una eficacia relativa del 295% frente a la expansión directa exclusivamente.

5. Conclusiones

- La inclusión de la Teledetección dentro de una estrategia de estimadores de regresión mejora la precisión de la estimación incluso en factores de 12 (caso del arroz), 11,6 (melón) o 7,1 (maíz).
- Esto implica la posibilidad de rebajar drásticamente el trabajo en campo: para obtener una precisión similar a la obtenida en expansión directa basta con utilizar menos segmentos.
- La clasificación supervisada es una técnica perfectamente válida siempre que se realice una detallada selección de firmas espectrales y se apliquen exhaustivamente los conceptos de estrato y neo-estrato.
- En los resultados ha influido negativamente la situación de sequía de la cuenca en 1994 respecto a una distribución normal de cultivos, aunque, en contrapartida, se ha obtenido una valiosa información de como se distribuye el regadío en una situación de falta de recursos hídricos.

6. Referencias

LÓPEZ SORIA, SALVADOR. 1989. *Aplicación de las técnicas de detección de cambios a partir de imágenes digitales de satélite en el seguimiento de los recursos naturales*. Tesis Doctoral. U.P.M., Madrid, 1989.