

APROXIMACION AL ESTUDIO DE LA EVOLUCION TEMPORAL DE LA SUPERFICIE EN REGADIO DE LA CUENCA DEL RIO SEGURA MEDIANTE TECNICAS DE TELEDETECCION Y S.I.G.

A. Quintanilla Ródenas, S. Castaño Fernández, J. García-Consuegra Bleda, E. Navarro Martínez.

Sección de Teledetección y S.I.G. Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla-La Mancha. Campus Universitario, 02071 Albacete. Tel: 967-599200-2627, Fax: 967-599233. Email: teledeteccion@idr-ab.uclm.es.

S. Montesinos Aranda.

GEOSYS, Sistemas de Información de la Tierra. Pío XII, 92-2º, 28036 Madrid

RESUMEN.- El objetivo de este estudio, elaborado entre Noviembre de 1994 y Mayo de 1995, fue realizar una cuantificación de la superficie regada en la Cuenca del Río Segura, en el momento de mayor demanda de agua, en los años 1975, 1991 y 1993. Para su realización se han aplicado técnicas habituales de Teledetección y S.I.G., disponiendo para ello de dos escenas de satélite LANDSAT TM y cuatro MSS, de diverso material cartográfico, de datos estadísticos y de datos de campo.

Para determinar dicha superficie nos hemos basado fundamentalmente en el análisis de los índices de vegetación de diferencia normalizada, en combinaciones en falso color para cada uno de los años y en los datos de campo. La información generada se ha integrado en un S.I.G. del que hemos extraído información acerca de la evolución de la superficie en regadío a nivel de toda la cuenca, provincial, de áreas regables y municipal.

ABSTRACT.- The main objective of this research, carried out between August 1994 and May 1995, was to achieve a quantification of the irrigated surface in the Segura River Basin at the moment water was in great demand in 1975, 1991 and 1993. Remote Sensing and G.I.S. techniques have been used. This achievement has been possible thanks to two satellite scenes LANDSAT TM and four, of different cartographic material, of statistic data and field data. To determine that surface we have mainly based in the analysis of normalized vegetation index, in false color combinations 4-5-3 for each one of the years and in the field data. The generated information has been integrated into a G.I.S. of which we have taken out information about the irrigated surface evolution at the whole basin level, provincial, municipal and hydraulics areas.

1.- INTRODUCCION

La cuenca del Río Segura se encuentra ubicada en el Sureste de la Península Ibérica y comprende la totalidad de la Comunidad de Murcia y parte de las comunidades autónomas valenciana, castellano-manchega y andaluza, siendo su extensión de 18.870 Km² (M.O.P.U. 1990). En la Tabla I se muestra su distribución por provincias, según nuestros datos digitalizados.

La importancia de los cultivos de regadío, impulsores de la economía agraria local, y la situación climatológica de los últimos años, con muy escasas precipitaciones, han propiciado diversos estudios sobre la evolución, a lo largo de los años, de la extensión ocupada por cultivos de regadío en esta cuenca.

PROVINCIA	Extensión en la cuenca (Has.)	% de la superficie de la cuenca
Murcia	1.097.000	58,73
Albacete	497.000	26,61
Alicante	127.400	6,82
Almería	83.020	4,44
Jaén	57.000	3,05
Granada	6.675	0,35
TOTAL	1.868.095	100,00

Tabla I.- Superficie de la cuenca y su distribución por provincias

Hemos de indicar que, dadas las características de este trabajo, al usar imágenes del mes de Julio de diferentes años, hemos podido determinar la superficie regada en esas fechas, así como su evolución (y parcialmente la clasificación de los cultivos) pero no la cuantificación y clasificación global de los cultivos a lo largo de todo el año, para lo que sería necesario disponer de imágenes estacionales de cada año, dadas las características de los cultivos de la cuenca.

2.- METODOLOGIA

2.1.- Información utilizada

Una escena Landsat cubre una zona de 185x170 Km (aproximadamente 35.000 Km²) con una resolución de 30 m. en el sensor TM (79 en el sensor MSS) y una repetición cada 16 días (18 para MSS) (Chuvienco,1990). La Cuenca Hidrográfica del Río Segura se encuentra entre las órbitas 199 y 200 del satélite Landsat-5, por lo que su cobertura al 100% se lograría con 5 cuartos de tres escenas diferentes, Figura 1. Atendiendo a la distribución geográfica de los regadíos se prefirió adquirir escenas flotantes (con centro en 38° 07' y 0° 0' de la órbita 199), las cuales cubren el 97% de la totalidad de la cuenca, faltando por cubrir: 41,2 Km² del Norte de la Zona Hidráulica Corral Rubio, 40,9 Km² del Oeste de la Zona Hidráulica Río Mundo y 476 Km² del Oeste de la Zona Hidráulica Sierra de Segura. Las áreas de las que no disponemos de cobertura (entre el 0.8% y el 2.98%) corresponden principalmente a las provincias de Jaén y Granada, por lo que hemos obviado sus cuantificaciones, estudiando las provincias de Albacete, Almería, Alicante y Murcia, en las que se concentra la totalidad del área regada con relativa entidad. Hemos de destacar que Almería presenta una característica diferenciada, que es la superficie cubierta por invernaderos.

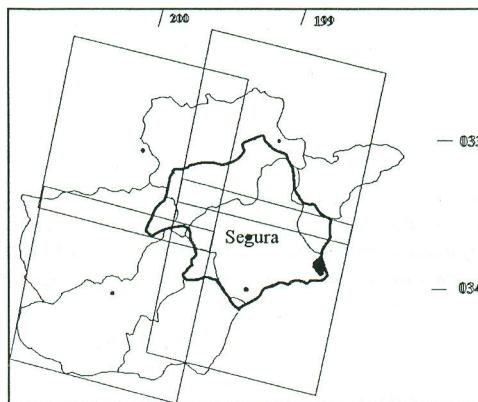


Figura 1.- Situación de la Cuenca del Segura y su cobertura con escenas Landsat estándar.

En el caso de las imágenes MSS, que no se suministran en posición flotante, se han adquirido cuatro escenas del mes de Julio a fin de cubrir toda la cuenca. A todas ellas se les ha realizado una comprobación y verificación previas para determinar la cobertura nubosa, características radiométricas, disponibilidad, etc. y para poder escoger la fecha óptima de pasada del satélite.

Otro criterio importante, a la hora de elegir años y fechas, fue homogeneizar los datos desde el punto de vista climático. Hemos buscado fechas en las cuales no se hubiesen registrado precipitaciones en los treinta días anteriores al paso del satélite (M.A.P.A., 1990; M.A.P.A., 1988).

Este primer proceso nos condujo a seleccionar, dentro de las pasadas del satélite más cercanas al 15 de Julio de cada año, las imágenes de las fechas: 7 de Julio de 1975, 23 de Julio de 1991, 28 de Julio de 1993. Igualmente se pudo disponer de una imagen del 16 de Agosto de 1994, fecha próxima al comienzo de este estudio que nos ha ayudado a contrastar la "verdad terreno".

En cuanto a cartografía, se usó la disponible de la zona, como son las hojas cartográficas E. 1: 400.000 y E. 1:200.000 del Instituto Geográfico Nacional, las hojas E. 1:50.000 del Instituto Geográfico del Ejército, la cartografía E. 1:200.000 del Plan Hidrológico del Segura (M.O.P.U.), los Mapas de cultivos y aprovechamientos de las provincias de Albacete, Alicante y Murcia, E. 1:200.000 y los Mapas de usos del segundo inventario forestal nacional E. 1:250.000 del M.A.P.A. Partiendo de esta información se digitalizaron los siguientes datos:

A. Cuenca hidrográfica del Río Segura.

B. Límites de provincias dentro de la cuenca: Albacete, Alicante, Almería, Granada, Jaén, Murcia. Figura 2.

C. Límites municipales dentro de cada provincia.

D. Zonas hidráulicas del Plan Hidrológico del Segura (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo). Figura 3.

E. Algunas subzonas hidráulicas o de actuación de los planes coordinados del Plan Hidrológico del Segura (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo).

Todos estos elementos fueron digitalizados en forma de segmentos y posteriormente poligonizados y rasterizados. Finalmente se incorporaron en el S.I.G. para poderlos integrar con los datos procedentes de las imágenes de satélite y cuantificar por áreas de gestión, (Bosque Sendra, 1992).

Se incorporaron también diversos hitos geográficos (ferrocarril, carreteras, autovías, poblaciones, red hidrográfica, canales y trasvases) que se han mantenido en forma de segmentos.

Durante la campaña de campo se cubrieron las siguientes zonas test, en las que se recogió la "verdad-terreno", a fin de contrastarla con los datos del procesamiento de las imágenes de satélite:



Figura 2.- Mapa digitalizado del contorno de la cuenca y límites municipales.

Mula-Cehegín.
 Valle del Guadalentín.
 Aguilas-Mazarrón.
 La Pedrera.
 La Manga-Cartagena.

Estas zonas se trabajaron contrastándolas con las imágenes de satélite de 1994 y mediante posicionamiento con G.P.S. En la fase final se usaron los datos contenidos en las estadísticas agrarias relativos a distribución de la tierra por aprovechamientos, distribución de cultivos, etc...(C.A.G.P., 1992; M.A.P.A., 1994).



Figura 3.- Mapa digitalizado de las zonas hidráulicas del Plan Hidrológico del Segura

2.2.- Tratamiento y análisis de imágenes

Los sensores de la serie TM (Thematic Mapper) presentan una resolución espacial de 30 m, radiométrica de 8 bits y espectral de 7 bandas, de las cuales, para este trabajo, se han usado 3, las que presentan menor correlación interbanda y por lo tanto aportan mayor información.

- Banda 3: rango de 0.63 a 0.69 (Rojo visible, banda de absorción de la clorofila).
- Banda 4: rango de 0.76 a 0.90 (Infrarrojo cercano, sensible a la biomasa de la planta).
- Banda 5: rango de 1.55 a 1.75 (Infrarrojo medio. Indica el contenido en humedad de la planta).

Estas bandas se usaron para generar los índices de vegetación, obtenidos mediante la relación:

$$NDVI = ((IRC - R) / (IRC + R))$$

siendo:

NDVI: Índice de vegetación de Diferencia Normalizada.

IRC: Infrarrojo.

R: Rojo

Esta relación para los sensores Landsat TM se traduce en $((\text{Banda 4} - \text{Banda 3}) / (\text{Banda 4} + \text{Banda 3}))$ con el fin de mejorar la discriminación entre suelos y vegetación y contrastar más claramente la vegetación activa.

Como elemento de contrastación se generó también una imagen en falso color de cada año mediante la combinación de bandas TM4, TM5 y TM3, en las que la vegetación aparece en tonos rojos (Montesinos, 1990).

Las escenas se corrigieron geoméricamente mediante una transformación polinómica y ajuste por mínimos cuadrados. La interpolación se realizó mediante el método Nearest Neighbour (vecino más próximo) para las destinadas a obtener los NDVI y por Cubic Convolution (convolución cúbica) para las destinadas a salidas gráficas (Richards, 1986). El conjunto se reescaló a 25 m.

Los sensores de la serie MSS presentan una resolución espacial de 79 m (aunque en la

transformación digital se le asigna un formato de 57x79 m), radiométrica de 6 bits y espectral de 4 bandas (Curran, 1985). Teniendo en cuenta estas características, se obtuvo un NDVI para el año 1975 siguiendo un procedimiento análogo al citado anteriormente (Rouse et al., 1973). El contraste de los datos de estas imágenes (índice de vegetación y falso color 453 para cada año), con los datos de la campaña de campo nos ha permitido llegar a una identificación de los píxeles correspondientes a las zonas regadas.

Tomando como base las imágenes en falso color y apoyándonos en los mapas de usos y de cultivos y aprovechamientos digitalizados, se obtuvo la máscara de regadío de caracterización geográfica para cada año, limitando por exceso las áreas geográficas máximas que eran regadas en ese momento. Esta máscara se cruzó con el índice de vegetación y se analizaron los resultados contrastándolos siempre con el trabajo de campo. El resultado del cruce de las dos informaciones para cada año se analizó por separado y conjuntamente, estudiándose cada nivel del índice de vegetación a fin de determinar el punto de corte.

Finalmente, los resultados obtenidos en el proceso anterior, es decir, una imagen de cada año, en la que se mantienen exclusivamente los píxeles correspondientes a la superficie regada en ese momento, se incorporó en el marco de un Sistema de Información Geográfica, juntamente con la información digitalizada citada anteriormente). El cruce de todos estos datos nos ha permitido llegar a una identificación y cuantificación de la superficie regada de cada año.

Al mismo tiempo que se realizaba todo el proceso descrito, se preparaban las salidas gráficas de impresión. Para la obtención de estas salidas se corrigieron las imágenes por convolución cúbica reescalándolas a 25 m. Posteriormente, y con el fin de mejorar el efecto visual, se aplicó un filtro Laplaciano de núcleo 6. La combinación de las bandas para el sensor TM ha sido la 5-4-3 resaltando la vegetación activa en tonos verdes, Figura 4. Para la imagen de 1975 (sensor MSS) se usó la combinación 754 (en la que la vegetación activa aparece en color rojo) y posteriormente se sustituyeron los valores de los píxeles correspondientes a superficie regada por los de la combinación 574, a fin de presentarlos en colores verdes, para de poder establecer comparaciones visuales con las restantes.

La impresión se realizó en una impresora de sublimación A3 MITSUBISHI S-6600 con un tramado de colores amarillo, magenta y cian por combinación de rojo, verde y azul para las bandas 5, 4 y 3.

4.- CONCLUSIONES

La Teledetección es una herramienta mucho más fiable que cualquier otra atendiendo a una relación calidad-coste-tiempo, pero siempre dentro de unos márgenes de precisión, dependiendo del tipo de trabajo, satélite y sensor que se utilice. En este proyecto, el uso de las imágenes LANDSAT TM nos condiciona a una resolución en la que la unidad mínima identificable debe tener 30x30 m y estar cubierta en más de un 50% por el elemento objeto

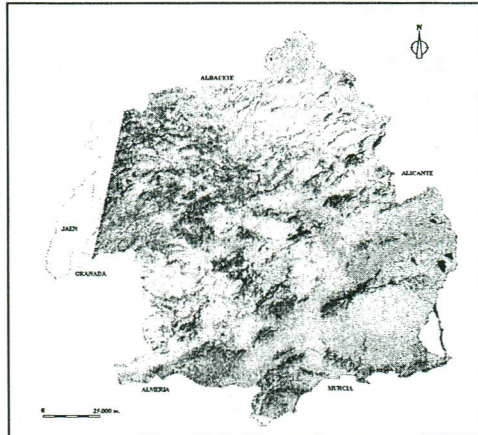


Figura 4.- Imagen Landsat TM, combinación falso color 543, del 23-7-1991. Comprende la práctica totalidad de la cuenca (C. 4)

del estudio, en nuestro caso, regadío con vegetación activa. El trabajo se ha centrado en la cuantificación de la evolución de esta superficie regada (en la época de mayor stress hídrico) en los años 1975 y 1993, mediante el análisis de imágenes de satélite LANDSAT. Se ha estudiado fundamentalmente el aspecto de cuantificación y evolución de los regadíos, buscando el mayor índice de fiabilidad de los datos. Desde un punto de vista económico, hemos de destacar el ahorro de tiempo y de dinero que las técnicas de teledetección presentan frente a los métodos tradicionales en este tipo de estudios; en efecto, el análisis de aproximadamente 2.000.000 de Has. en tres años distintos supone un coste que no supera las dos pesetas por Ha. analizada y se realiza en un período de seis meses.

Nuestros resultados nos permiten determinar la superficie regada en verano y, si se desea, la clasificación de los cultivos en los diferentes años, pero no la determinación y clasificación global de los cultivos en regadío existentes a lo largo de todo el año, para lo que habría sido necesario estudiar imágenes estacionales, dadas las características de los cultivos de esta cuenca. Este planteamiento sería conveniente tenerlo en cuenta para futuras investigaciones al respecto.

Por otro lado hemos de destacar que en los trabajos de teledetección aplicada, como el que nos ocupa, condicionado por factores como presupuesto y plazos de entrega, es necesario llegar siempre a un compromiso entre lo óptimo y lo posible. En este sentido, dada la amplitud geográfica de los estudios de teledetección, las cuantificaciones a nivel de grandes áreas resultan mucho más fiables que los de superficie de poca extensión (GANDÍA, 1991). En la tabla II se muestran algunos de los resultados obtenidos para los tres años estudiados. En ella aparece la superficie regada en las provincias de Albacete, Alicante, Almería y Murcia y el % que ello representa con respecto a la superficie total regada en la cuenca.

Provincia	Hectáreas regadas en 1975	% de la superficie total regada en 1975	Hectáreas regadas en 1991	% de la superficie total regada en 1991	Hectáreas regadas en 1993	% de la superficie total regada en 1993
Albacete	11.010	13,76	18.786	11,43	23.238	13,83
Alicante	17.585	21,98	42.238	25,7	41.206	24,53
Almería	1.519	1,90	1.958	1,19	1.874	1,12
Murcia	49.879	62,35	101.377	61,68	101.648	60,52
TOTAL	79.993	100,00	164.359	100,00	167.966	100,00

Tabla II.- Superficie total regada de la cuenca del Río Segura. Provincias de Albacete, Alicante, Almería y Murcia.

Del análisis de los resultados totales, y tomando como referencia los años 1975 y 1993, podemos extraer las siguientes conclusiones:

1.- La superficie regada en la Cuenca del Río Segura, para las provincias citadas, durante el verano de 1975 fue de 79.993 Has (4.28 % de la superficie total de la cuenca). En 1993 se había incrementado esta superficie en un 110 %, pasando a ser 167.966 Has. (8,90 % de la superficie total).

2.- Este incremento se reparte por provincias de la siguiente forma:

- Murcia (con una superficie que representa el 58.73% de toda la cuenca) incrementa su superficie regada en el verano en 51.770 Has. (el 58.85 % del total de Has. incrementadas en toda la cuenca)
- Alicante (con una superficie que representa el 6.82% de toda la cuenca) incrementa

23.621 Has. (el 26.85 % del total de Has. incrementadas en toda la cuenca)

- Albacete (con una superficie que representa el 26.61 % de toda la cuenca) aumenta 12.229 Has. (el 13.90 % del total de Has. incrementadas en toda la cuenca)
- Almería (con una superficie que representa el 4.44% de toda la cuenca) aumenta 355 Has. (el 0.40 % del total de Has. incrementadas en toda la cuenca)

3.- Las Zonas Hidráulicas que más incrementan su superficie regada en el período considerado son:

Sur de Alicante:	21.289	Has.	un 24.19 % del total..
Guadalentín:	15.421	Has.	un 17.52 % del total.
Mar Menor:	15.183	Has.	un 17.25 % del total.

Entre las tres zonas absorben el 59 % de incremento del total de la superficie regada en el verano. En la Figura 5 se puede apreciar la evolución de la superficie en regadío (en color verde en la imagen en color) en la Zona Sur de Alicante entre los años 1975 (izquierda) y 1993 (derecha)

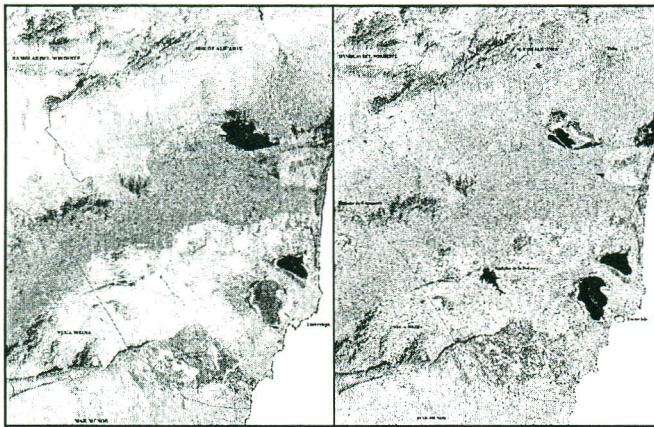


Figura 5.- Zona Sur de Alicante. Evolución de la superficie en regadío entre 1975 y 1993 (C. 5)

4.- Las Subzonas que más incrementan su superficie regada en el período considerado son:

Riegos del Levante M.I.:	8.898 Has.	10.11 % del total
La Pedrera:	7.201 Has.	8.19 % del total.
Valle del Guadalentín:	6.935 Has.	7.88 % del total.
Oriental:	6.143 Has.	6.98 % del total.

Entre las cuatro subzonas zonas absorben el 33 % de incremento del total de la superficie regada en el verano (en toda la cuenca).

5.- AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestros compañeros de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete, muy especialmente al Dr. Francisco Montero Riquelme, su ayuda en diversos aspectos de la identificación de cultivos y en el análisis de los resultados obtenidos.

6.- REFERENCIAS

- Bosque Sendra, J. 1992. *Sistemas de información geográfica*. Rialp. Madrid 451 p.
- Consejería de Agricultura, Ganadería y Pesca. 1992. *Estadística Agraria Regional, 1990. Región de Murcia*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Murcia 108 p.
- Chuvieco, E. 1990. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rialp. Madrid 453 p.
- Curran, P. J. 1985. *Principles of Remote Sensing*. Longman. London 282 p.
- Gandía, S. 1991. La teledetección en los inventarios agrarios. En *La teledetección en el requerimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. S. Gandía and J. Meliá (Eds.) 3/3-324. Universidad de Valencia.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1994. *Anuario de Estadística Agraria*. M.A.P.A. Madrid 679 p.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1988. *Caracterización agroclimática de la provincia de Albacete*. Madrid 183 p.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1990. *Caracterización agroclimática de la provincia de Murcia*. Madrid 252 p.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1990. *Caracterización agroclimática de la provincia de Alicante*. Madrid 167 p.
- Montesinos, S. 1990. Teledetección: su utilización en la cuantificación y seguimiento de recursos hidráulicos aplicados al regadío. Proceso digital de imágenes LANDSAT TM de la Mancha Occidental. En *Informaciones y Estudios* 51. MOPU. Madrid.
- Richards, J. A. 1986. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag. New York 281 p.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J.A., Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. En *Proceedings third ERTS Symposium Vol. 1*, pp 48-62.