

Análisis comparativo de las superficies regadas en los acuíferos del Campo de Montiel y La Mancha Occidental en el período 2004-2008

Comparative analysis of irrigated areas in Campo de Montiel and La Mancha Occidental aquifers during 2004-2008

M. Bea¹, S. Montesinos¹, C. Morugán² y S. Moraleda²
mbea@geosys.es

¹ GEOSYS. Sector Foresta, 23, locales 7 y 8. 50340 Tres Cantos. Madrid

² Confederación Hidrográfica del Guadiana. Ctra. de Porzuna, 6. 13002 Ciudad Real

Recibido el 02 de marzo de 2010, aceptado el 20 de mayo de 2010

RESUMEN

La declaración de sobreexplotación de los acuíferos de la Llanura Manchega conlleva el necesario control, por parte de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, del Régimen anual de explotación de las aguas subterráneas. La teledetección desde satélite es, sin duda, la herramienta más eficaz para realizar este control. En esta comunicación se presenta el análisis comparativo de los resultados obtenidos en varios estudios en el periodo 2004-2008.

PALABRAS CLAVE: superficies en regadío, acuíferos sobreexplotados, régimen de explotación.

ABSTRACT

The aquifer's overexploitation declaration of La Llanura Manchega entails a necessary control by Guadiana River Basin Authorities about the yearly regime of exploitation of the groundwater resources. Without a doubt, remote sensing techniques with satellite images are the most efficient tool for realise this control. In the following paper, it's presented a comparative analyse of this study between different years 2004-2008.

KEY WORDS: irrigated area, overexploited aquifers, exploitation regime.

INTRODUCCION

El Texto Refundido de la Ley de Aguas en su artículo 56.1 y el Reglamento del Dominio Público Hidráulico en su artículo 171.1, indican que el Organismo de cuenca puede declarar los recursos hidráulicos subterráneos de una zona sobreexplotados o en riesgo de estarlo, debiendo imponer limitaciones a las distintas explotaciones del acuífero, mediante la elaboración del Plan de Ordenación de las extracciones y el establecimiento de regímenes anuales de explotación del acuífero. La Disposición Transitoria 3ª de la Ley 29/1985, de Aguas, dispone que, a los aprovechamientos de aguas privadas procedentes de pozos

en explotación, les serán aplicables las normativas que regulan la sobreexplotación de acuíferos.

Debido a la grave situación alcanzada en los acuíferos de la Llanura Manchega, en junio de 1989, mediante resolución de la Dirección General de Obras Hidráulicas, fue declarado sobreexplotado el acuífero de Campo de Montiel.

Por otra parte, la Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, en diciembre de 1994, declaró sobreexplotado el acuífero de La Mancha Occidental, cuya área fue ampliada mediante acuerdo de 22 de agosto de 2008 (D.O.C.M. del 10 de octubre de 2008).

Considerando los 5.125 km² declarados sobreexplotados en el acuífero de la Mancha Oc-

cidental y los 1.840 km² del acuífero del Campo de Montiel, la superficie total declarada sobreexplotada en la cuenca alta del Guadiana es de 6.965 km². En dichas zonas, existen unos derechos de regadío de unas 165.000 ha y 13.000 ha respectivamente.

Los trabajos se han desarrollado en los sistemas acuíferos de la Mancha Occidental y del Campo de Montiel, incluidos en el ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Guadiana en virtud del Real Decreto 650/1987 (Fig. 1).

ANTECEDENTES

La cuantificación de las superficies regadas y el conocimiento de la distribución de los diferentes tipos de cultivos en regadío supone un aspecto clave para la realización de las tareas de gestión hídrica y planificación hidrológica sobre el territorio.

La teledetección espacial ha demostrado su potencial como herramienta válida para la elaboración de mapas de cultivos en regadío (Barón, 1999; Quintanilla *et al.*, 1997; Montero *et al.*, 2005; Montesinos y Bea, 2008), siendo una técnica capaz de proporcionar resultados fiables con costes económicos y periodos de respuesta rápidos en relación a otras posibilidades.

La cuenca alta del Guadiana, seguramente debido a la gravedad de los problemas ambientales a los que se enfrenta, ha sido una zona pionera en la elaboración de estudios para la determinación de superficies regadas a partir de técnicas de teledetección (Montesinos, 1990). En los últimos años, se han realizado estudios

anuales para la elaboración de mapas de cultivos en regadío dentro del ámbito de los acuíferos sobreexplotados.

En el año 2004, Geosys llevó a cabo para la Comisaría de Aguas del Guadiana, las asistencias técnicas «*Seguimiento del control del régimen de explotación del acuífero de La Mancha Occidental*» con el objetivo de evaluar las superficies de cultivos en regadío existentes en el año 2004, en la unidad hidrogeológica 04.04 y el «*Seguimiento del control del régimen de explotación del acuífero de Campo de Montiel*», en la U.H. 04.06.

En ambos casos, se trataba de detectar las superficies en cultivos herbáceos en regadío existentes en los acuíferos declarados sobreexplotados para, aplicando las dotaciones por cultivo establecidas en el Plan de Ordenación del Régimen de explotación, identificar aquellas explotaciones que incumplían el régimen dentro de los perímetros de sobreexplotación.

Los datos de viña del año 2004, se extrajeron del proyecto «*Estimación de consumos de cultivos en regadío en el ámbito territorial del Acuífero de La Mancha Occidental durante la campaña de riego de 2003*», elaborado a partir de los datos corregidos de declaraciones de cultivos de la PAC y de los consumos estimados por el Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Estos datos de viña provenían de las estadísticas de las declaraciones IT requeridas por la PAC y recopiladas por la Consejería de Agricultura, habiendo sido corregidos y complementados por las Delegaciones Provinciales de Agricultura y las Oficinas Comarcales Agrarias.



Figura 1. Ámbito de estudio: Unidad Hidrogeológica 0404, PA0401 y PS0406.

Por otro lado, durante los años 2005 y 2006 la empresa pública TRAGSA realizó, para la Confederación Hidrográfica del Guadiana, el estudio «*Estimación de superficies en regadío por teledetección en la cuenca del Alto Guadiana y acuíferos sobreexplotados. Campañas 2005 y 2006*», con el objetivo de cuantificar las superficies regadas y determinar el consumo de agua de los cultivos en regadío observados en la zona, a partir de las dotaciones teóricas ligadas a cada cultivo.

Por último, en los años 2007 y 2008, la Confederación Hidrográfica del Guadiana encargó la realización de las asistencias técnicas «*Estimación de las superficies realmente regadas en los acuíferos del campo de Montiel y de La Mancha Occidental*», donde además de cuantificar las superficies en regadío en los acuíferos en esos años, se realizó un análisis espacial comparativo de las superficies obtenidas desde 2004.

METODOLOGÍAS PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE CULTIVOS EN REGADÍO

En relación a la metodología, cabe destacar, que en cada uno de los trabajos se han realizado distintas aproximaciones o bien se han introducido mejoras en las aproximaciones realizadas, aunque en todos los casos se han basado en el análisis multiespectral y multitemporal de datos de satélite.

Las imágenes empleadas han sido series temporales adquiridas por el satélite Landsat durante la primavera y verano de cada año, que han podido ser apoyadas con coberturas de imágenes SPOT adquiridas durante los veranos entre 2004 y 2008.

Durante el año 2004, la metodología de trabajo se ha basado en la clasificación multiespectral supervisada de una serie de imágenes de satélite Landsat distribuidas en seis fechas a lo largo de las campañas de primavera y verano. Esta clasificación se realizó para cada píxel determinado como superficie regada a partir de componentes principales derivadas del conjunto de imágenes disponibles.

Durante los años 2005 y 2006 las metodologías empleadas han sido análogas. Para los cultivos herbáceos se llevó a cabo un proceso de

clasificación multiespectral supervisada. Las precisiones de identificación (PI) obtenidas fueron del 81% para 2005 y del 88% para 2006, con una leyenda que contiene cereal, forrajes, cebolla, maíz, melón y otros cultivos regados. Para el viñedo se calculó un índice de vegetación (NDVI) sobre el total de la zona estudiada, a partir del cual se llevó a cabo una segmentación en tres categorías del viñedo identificado en la última versión disponible del SIGPAC. Estas tres categorías fueron denominadas «viñedo con NDVI alto», «Viñedo con NDVI medio» y «Viñedo con NDVI bajo». La primera de las clases ha sido asimilada al viñedo regado, realizándose un proceso de validación sobre la fiabilidad de los resultados así obtenidos. Según este análisis, la precisión de identificación del viñedo regado supera el 95% en las dos campañas.

En los años 2007 y 2008, también se han desarrollado dos procedimientos diferenciados para la estimación de las superficies realmente regadas, uno para cultivos herbáceos, basado en una aproximación mixta de clasificador en árbol-clasificación multiespectral de los datos de satélite y otro para la viña, basado en un análisis multicriterio.

Los cultivos herbáceos en riego han sido determinados a partir del cálculo de índices de vegetación, usándose umbrales definidos empíricamente a partir de datos de campo para la determinación de vegetación activa. Tras un posterior enmascaramiento, se han determinado las zonas de cultivos regados, que han sido ajustadas a los límites de las parcelas catastrales de la zona.

La asignación de las superficies regadas a las categorías de la leyenda temática de cultivos regados se ha realizado a nivel de parcela cultivada. Para ello, se han realizado diferentes procesos: fotointerpretación, análisis de cambios entre fechas y clasificación multiespectral supervisada del conjunto de fechas, de pares de fechas y de fechas aisladas.

Un porcentaje de la muestra no utilizado en estos procesos ha servido para ajustar un árbol jerárquico de decisión que se ha empleado para definir la metodología parcial que proporciona mejores resultados para cada cultivo y establecer prioridades entre ellas y entre cultivos. Este árbol de decisión ha servido para llevar a cabo el proceso de discriminación de cultivos.

La precisión global obtenida para el mapa de herbáceos regados de 2007 se sitúa en el 88% mientras que para 2008, ha sido del 90% en una clasificación que contiene cereal, ajo, forrajes, cebolla, girasol maíz, melón, pimiento y tomate, patata y otros herbáceos regados.

En el caso de la viña, las dificultades inherentes para la cuantificación del riego mediante el empleo de la teledetección de alta resolución resultan evidentes, dado que la respuesta captada por los sensores presenta una mezcla entre vegetación y suelo que dificulta el análisis de las características de las plantas (Arán *et al.*, 2001). Además, las diferencias en la conducción, tipología, variedad, edad y prácticas agrícolas introducen evidentes factores de variabilidad.

A todo esto se suma el hecho de que las dotaciones totales y frecuencia de los riegos oscilan notablemente en un gradiente que abarca desde viñedos en vaso que reciben un único riego de apoyo de varias horas en un día concreto, hasta explotaciones en espaldera regadas regularmente durante toda la campaña con objeto de maximizar la producción de uva.

A pesar de estos condicionantes, el empleo de imágenes de los satélites Landsat y SPOT proporciona una información de interés relacionada con los efectos del riego sobre el cultivo de la viña. Como complemento a esta información, se ha decidido emplear otros datos no numéricos que se encuentran disponibles o han podido ser georreferenciados y que se encuentran relacionados con la posibilidad de ausencia / presencia de riego, dentro de un enfoque de apoyo con información basada en el conocimiento del territorio (Richards, 1993).

Así, varios mapas de índices de vegetación y de diferencias de índices entre fechas han sido puestos en relación con otros mapas representando factores relacionados con la posibilidad de existencia de riego en los viñedos (inventarios de pozos, inscripción en el Registro de Aguas, usos del suelo previos a la plantación del viñedo, datos disponibles de campo de años anteriores, etc.), dentro de un procedimiento de evaluación multicriterio (Eastman *et al.*, 1998).

El modelo desarrollado ha sido ajustado zonalmente a partir de una muestra amplia de datos de campo (por encima de 16.000 ha en cada uno de los años) permitiendo obtener un peso asociado a cada mapa empleado que optimiza el

ajuste entre la información de partida disponible relacionada con el riego y la distribución de parcelas en regadío. Este modelo de evaluación multicriterio ha sido aplicado sobre el conjunto de parcelas de viñedo del territorio, determinado previamente mediante procesos de fotointerpretación a partir de ortofotografía digital en color con 50 centímetros de tamaño nominal de píxel.

La validación de los mapas obtenidos arroja una precisión global del 81%. La fiabilidad de la identificación de parcelas en secano se ha cifrado en un 88%, mientras que la fiabilidad en la identificación de riegos ha sido del 75%, lo que indica la necesidad de ajustar en mayor grado la metodología para conseguir identificar los riegos de apoyo y baja dotación, así como las plantaciones jóvenes, aún con poco desarrollo.

En ambos casos, los procesos se han realizado independientemente para cada una de las zonas resultantes de la segmentación del territorio. Esta segmentación tiene por objeto obtener áreas homogéneas, donde las variables estadísticas sean extrapolables y respondan a una distribución unimodal para que los algoritmos que se utilizan funcionen correctamente.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS ENTRE 2004 Y 2008

En la tabla 1 se pueden ver los resultados obtenidos, desglosados en forrajeras con riego de ciclo largo, en cultivos herbáceos regados en primavera, en herbáceos regados con alta dotación en verano, y por último, en viñedo, que se ha convertido en el cultivo que presenta las mayores extensiones de superficie regada.

Los cultivos de forrajes (alfalfa y prados) se mantienen en un rango estable, no siendo demasiado representativos en relación al total.

Los herbáceos regados en primavera (fundamentalmente cereales) presentan cifras que oscilan considerablemente entre los diferentes años. Con objeto de explicar esta situación, se ha incluido un registro en la tabla, que representa la pluviometría media entre los meses de marzo y mayo, calculada como la media entre los datos recogidos por las estaciones del SIAR instaladas dentro de la zona de estudio.

Se observa como en un año con una primavera húmeda, como 2004, los cultivos de primave-

ra en regadío se cifran en unas 12.000 ha, mientras que en años secos como 2005 y 2006 este mismo dato se acerca a las 30.000 ha. Esta explicación se refuerza por el escaso valor añadido del cereal. Dado que el agua debe ser bombeada desde profundidades cada vez mayores, muchas parcelas reciben riegos de apoyo o incluso de emergencia, sólo cuando las condiciones climáticas obligan a ello.

En verano, la media de la superficie de herbáceos en regadío, en los últimos 5 años, es de 18.327 ha. Todos los años presentan cifras dentro del rango, con la mínima en el año 2006, con 14.326 ha y la máxima en 2005, con 22.544 ha. En el año 2008, la superficie de herbáceos en regadío prácticamente coincide con la media de los últimos 5 años.

Las mayores diferencias las encontramos en la estimación de la superficie de viña en regadío. Las cifras indicarían un crecimiento de la viña en regadío durante estos 5 años, que no se corresponde con ningún tipo de pauta real conocida.

La cifra de viña en regadío en el año 2004 (45.484 ha), está extraída de las declaraciones de la PAC y parece evidente que presenta un sesgo a la baja muy importante.

Por otro lado, para los años 2005 y 2006, la memoria del estudio del que se han extraído los datos, establece la fiabilidad del viñedo a partir de la Precisión de Identificación (PI). Ésta se ob-

tiene del cruce de la clasificación realizada por teledetección con los datos de viñedo en regadío y secano obtenidos en las campañas de campo realizadas en el verano de 2005 y en la primavera de 2006. Según se recoge en dicha memoria, la PI del viñedo regado en las dos campañas supera el 95% en la Mancha occidental. Sin embargo, dada la metodología que se empleó, no parece probable que la precisión de la estimación sea tan alta como la fiabilidad que se dice. El hecho de que la superficie identificada como viña regada aumente en 23.000 ha de un año a otro (lo cual implica un 45% de la viña en regadío cuantificada en 2005) avalaría esta afirmación.

Entre 2006 y 2007, la diferencia también resulta muy importante (18.000 ha) y tiene obligatoriamente que deberse a las diferencias en la aproximación metodológica empleada, ya que el ritmo de crecimiento del viñedo en regadío no ha podido ser tan intenso en un solo año. En este sentido, resulta inquietante que la fiabilidad global (definida como el cociente entre la superficie correctamente identificada como regadío en la muestra de validación y el total de superficie de viña usada en la validación) sea tan elevada en ambos estudios, ya que indica que la rigurosidad del proceso de validación en alguno de los dos (o en ambos) resulta cuestionable. Esta inquietud se basa en la respuesta de cualquier usuario ante un análisis comparativo de este ti-

Tipo cultivo	2004	2005	2006	2007	2008
Forrajeras	938	773	1.481	1.156	689
Herbáceos en primavera	11.894	27.594	31.071	5.163	24.377
Herbáceos en verano	17.758	22.544	14.326	18.485	18.523
Viña en regadío	45.484	52.572	75.554	94.428	92.134
TOTAL (ha)	76.074	103.483	122.432	119.232	135.723
Total PRIMAVERA	11.894	27.594	31.071	5.163	24.377
Total VERANO	18.696	23.317	15.807	19.641	19.212
Total VIÑA	45.484	52.572	76.389	94.428	92.134
Consumo estimado (Hm³)	212,85	276,30	274,80	264,70	283,30
Precipitación acumulada media en marzo-mayo (mm)	240	37	142	195	149

Tabla 1. Estimación de superficies regadas (en hectáreas) y consumos para el período 2004-2008.

po, que en muchas ocasiones le puede llevar a rechazar, de forma general, la propia técnica.

La cifra obtenida en 2008 resulta muy similar a la de 2007, a pesar de la complejidad propia de la cultura vitícola (arranques, nuevas plantaciones, riegos de apoyo, etc.).

En 2008, la muestra de campo se recogió, dentro de cada una de las zonas resultado de la segmentación territorial, dentro de polígonos catastrales completos y con una distribución de muestreo proporcional según la viña total existente en cada segmento. De esta forma, fue posible realizar un proceso estadístico de expansión directa para la estimación de la cifra esperable de viña en regadío existente (basada en un porcentaje de muestra del 12% del total), que se situó en el entorno de las 90.000 ha.

Igualmente, se realizó un análisis de incertidumbre que indicó que la superficie de viña en regadío en los perímetros de sobreexplotación, estaba en torno a las 95.000 ha, en un intervalo que podía oscilar entre las 88.000 ha y las 102.000 ha.

Desde el punto de vista del consumo de agua, las diferencias en las superficies cuantificadas en los distintos años, no tienen una relevancia significativa. Así, si no consideramos el año 2004, por las razones que venimos argumentando, el consumo en el año 2008 representa el máximo con 283,30 Hm³ y el mínimo se registraría en el año 2006, con 264,70 Hm³. La desviación con respecto a la media es de 8-10 Hm³. Las dotaciones empleadas para la estimación del consumo son las establecidas para cada cultivo dentro del Plan de Ordenación de las Extracciones del acuífero de la Mancha Occidental, aprobado como consecuencia de la declaración de sobreexplotación del acuífero.

Sin embargo estas cuantificaciones presentan dos factores de variabilidad que deben ser tenidos en cuenta: los cambios interanuales en las superficies regadas debidas a las diferencias de climatología y la necesidad de ajustar las dotaciones de consumo.

La distribución de los diferentes tipos de cultivos dentro del área de estudio se muestra en la Figura 2.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estimación de superficies regadas en un territorio se realiza de forma habitual mediante di-

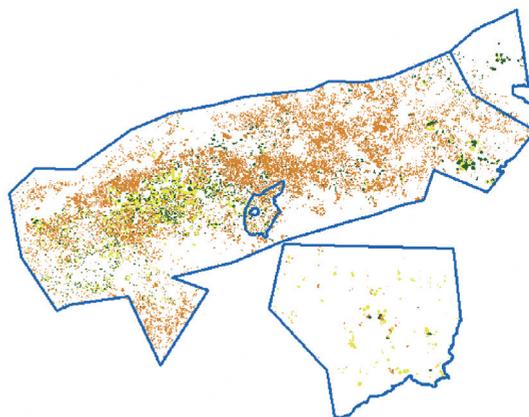


Figura 2. Distribución de superficie regada en 2008 dentro de la zona de estudio. Se representan los cultivos herbáceos regados en primavera (en amarillo), los cultivos herbáceos regados en verano (en verde) y el viñedo regado (en naranja).

ferentes técnicas, que integran trabajos estadísticos, recopilación de declaraciones de agricultores, trabajos de campo y proceso de datos geográficos.

La teledetección se ha convertido en una herramienta aceptada para su empleo en este tipo de estudios, proporcionando información detallada acerca de la distribución de cultivos en el territorio, posibilitando mejoras en la calidad de los resultados, la obtención de datos adicionales así como ahorros en costes y tiempos de respuesta.

En relación a los resultados, hay que tener en cuenta que el mapa de distribución de las superficies realmente regadas en los acuíferos, es un mapa dinámico que cambia cada año, por lo que se recomienda su actualización continua, apoyando el mapa de referencia obtenido para el año 2008, con campañas de campo dirigidas a:

- i) cultivos herbáceos de verano, como mayores consumidores de agua,
- ii) los cereales, para determinar en que grado se riegan dependiendo de las precipitaciones del año, y
- iii) la viña en regadío, dado que es el cultivo con mayor extensión en la zona, y cuya tendencia es al alza.

Se recomienda también una revisión de los datos administrativos relacionados con las concesiones de uso privativo de aguas, que deben ser unos datos de referencia en este tipo de estudios, pero que como se ha visto, en la actualidad contienen errores sustanciales.

Por último, se recomienda el desarrollo de nuevos escenarios de consumo de agua basados en la integración del mapa de superficie regadas con medidas en campo de caudalímetros distribuidos estadísticamente y en función de este mapa base.

REFERENCIAS

- ARÁN, M., VILLAR, P., XANDRI, J., ALBIZUA, L., LERÁNOZ, A., ZALBA, M. & FARRÉ, X. 2001. Estudio de las relaciones entre propiedades del suelo, cubierta vegetal y respuesta espectral en el cultivo de la viña. En: *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global* 29-32. Universidad de Lleida
- BARÓN, A. 1999. Experiencia sobre la evaluación de las extracciones de agua subterránea en las Islas Baleares. En: Ballester et al. (1999): Medida y evaluación de las extracciones de aguas subterráneas. ITGE. Madrid. pp. 43-54. ISBN: 84-7840-361-2.
- EASTMAN, J. R., JIANG, H. & TOLEDANO, J. 1998. Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. En: «Multi-criteria analysis for land-use management». Ed. by Beinat, E., and Nijkamo, P. (Kluwer Academic Publishers), pp. 227-251.
- MONTERO, I., RODRÍGUEZ-PÉREZ, A. J., CIFUENTES, V., MARTOS, J. C., MOLINA, F., RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, J. A., OYONARTE, N. & MUÑOZ, A. 2005. Mejoras metodológicas en la estimación por teledetección de la superficie en regadío en la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. XI Congreso Nacional de TELEDETECCIÓN. Puerto de la cruz (Tenerife).
- MONTESINOS, S. 1990. Teledetección: su utilización en la cuantificación y seguimiento de recursos hidráulicos aplicados al regadío. *Informaciones y Estudios*, 51, MOPU (ed), 106 pp.
- MONTESINOS, S. & BEA, M. 2008. Aplicaciones operativas de la Teledetección en la Planificación y Gestión del Medio Hídrico. *Revista de Teledetección*, 29: 91-100,
- QUINTANILLA, A., CASTAÑO, S., MONTESINOS, S., GARCÍA-CONSUEGRA, J. & NAVARRO, E. 1997. Aproximación al estudio de la evolución temporal de la superficie en regadío en la cuenca del río Segura mediante técnicas de teledetección y SIG. *Teledetección: usos y aplicaciones*, 39-46. Universidad de Valladolid.
- RICHARDS, J. A. 1993. Remote Sensing digital image analysis. Springer-Verlag. 340 pp.