

INCORPORACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN A LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

MONOGRÁFICO RIEGOS DEL ALTO ARAGÓN | ENERO 2010



SUMARIO

EDITORIAL	3
TECNOLOGÍA Y AGRICULTURA RENTABLE	4
LA TELEDETECCIÓN EN ARAGÓN	5
APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN A LA MEJORA DEL MANEJO Y GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN ARAGÓN	7
INTEGRACIÓN DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL RIEGO. UNA APLICACIÓN EN ANDALUCÍA	10
TELEDETECCIÓN EN LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE REGADÍO	13
ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVOS LEÑOSOS EN REGADÍO MEDIANTE TELEDETECCIÓN EN ARAGÓN	16
FARMSTAR, SERVICIO OPERATIVO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN APLICADA A LA PARCELA, EL ABONO Y EL RIEGO	19

Este Boletín Monográfico es resultado del Proyecto de Demostración DER 2009-02-50-729003-553 titulado "Incorporación de la teledetección a la gestión del agua en la agricultura" incluido en el Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2007-2013 y financiado por el Gobierno de Aragón y la Unión Europea (FEADER).



EDITORIAL

La Jornada Técnica: Incorporación de la teledetección a la gestión del agua en la agricultura, fue organizada por Riegos del Alto Aragón y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón; contó con la colaboración de Walqa y de AFRE (Asociación de fabricantes de riego españoles) y fue posible gracias a la financiación a través del Programa de Desarrollo Rural 2007-2013 del Gobierno de Aragón gestionado por la Consejería de Agricultura y Alimentación.

Tanto la jornada como esta publicación, son iniciativas de acercamiento al sector, en las que una comunidad de regantes y un centro de investigación cooperan a través de la organización conjunta de actividades de difusión de nuevas tecnologías. El objetivo principal es que gestores, técnicos y regantes de Aragón conozcan las posibilidades de utilización de la teledetección en la gestión del agua en la agricultura de regadío y la incorporen en el asesoramiento de riegos.

No hace mucho tiempo hablar de la función que los satélites podían cumplir en el desarrollo de una agricultura tecnificada parecía casi ciencia ficción. A día de hoy, es relativamente sencillo encontrar tractores que a través de la denominada agricultura de precisión llevan este tipo de tecnologías al día a día del sector agrario. Pese a los malos momentos que atraviesa el sector, es necesario continuar avanzando en una apuesta firme y decida por la Innovación y toda aquella tecnología que permita de forma razonable incrementar la competitividad de las empresas agrarias y mejorar la gestión del agua de riego.

La Junta de Gobierno

TECNOLOGÍA Y AGRICULTURA RENTABLE

GONZALO ARGUILÉ LAGUARTA. *Consejero de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón.*

Es para mí un honor poder dirigirme a todos los regantes de la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón a través de estas líneas. Y lo hago, en primer lugar, para felicitarles por la iniciativa que han tenido de organizar unas jornadas sobre la incorporación de la teledetección a la gestión del agua en la agricultura, de la que espero hayan sacado importantes conclusiones. También quiero felicitarles por impulsar y colaborar en este tipo de investigaciones que son imprescindibles para lograr una agricultura más competitiva, un deseo que compartimos todos.

Sin duda, la teledetección ha supuesto ya en algunos ámbitos toda una revolución tecnológica, que aplicada a la agricultura y a la gestión del agua va a permitir un uso más eficiente y racional de este recurso. Cumplimos así un doble objetivo: logramos ser más competitivos en nuestro trabajo y damos respuesta a una demanda social cada vez más creciente.

Para el Gobierno de Aragón es muy importante apoyar este tipo de investigaciones motivadas siempre con el objetivo de transferir mejoras técnicas al sector agrario, más aún cuando se trata de ahorrar agua en los usos agrícolas. Ya saben que el Departamento de Agricultura y Alimentación tiene entre sus objetivos prioritarios la modernización de nuestros regadíos como una herramienta fundamental en la racionalización de los usos hídricos. En este sentido,

el Gobierno de Aragón está realizando un importante esfuerzo, que no sería válido sin la apuesta decidida de los regantes por llevar a cabo importantes inversiones en modernización.

Les decía que la teledetección ha sido todo un avance tecnológico impensable hasta hace unos años. Pues bien, estos sistemas se han convertido en un elemento fundamental, por ejemplo, en los controles de campo de las ayudas de la Política Agraria Comunitaria. El Gobierno de Aragón, a través de un convenio anual con el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, viene analizando mediante esta técnica unas 200.000 hectáreas anuales, que suponen un elemento sustancial en la defensa de la correcta gestión de las ayudas comunitarias, ante las auditorías a las que la Comisión Europea y el Tribunal de Cuentas de Luxemburgo someten al Departamento. La teledetección está siendo utilizada también para mejorar el propio sistema de SIGPAC, utilizado por los agricultores para la declaración de sus parcelas.

Es para mí una satisfacción comprobar que el sector agrario aragonés, y en concreto, la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón, ha realizado una importante apuesta por las nuevas tecnologías, la innovación y la mejora continua con el objetivo de hacer de nuestras explotaciones un medio de vida rentable.

LA TELEDETECCIÓN EN ARAGÓN

FERNANDO BELTRÁN BLÁZQUEZ. *Viceconsejero de Ciencia y Tecnología del Gobierno de Aragón.*

INTRODUCCIÓN

El Gobierno de Aragón tiene entre sus prioridades el impulso a la I+D+I en la Comunidad Autónoma de Aragón, así como la transferencia de tecnología, consciente de la importancia que éstas, junto a la innovación y el desarrollo, tienen en el progreso y desarrollo responsable de la sociedad aragonesa. La logística, las tecnologías de la información y las comunicaciones, el desarrollo agroalimentario, etc. son algunas de las líneas estratégicas que se han impulsado recientemente en nuestro territorio. La teledetección y el uso de tecnologías satelitales son otras de las prioridades que actualmente se están impulsando desde el Gobierno de Aragón.

La teledetección es la capacidad de obtener información mediante el análisis de la radiación electromagnética que refleja o emite un objeto de la superficie terrestre, captada mediante un conjunto de sensores. Estos sensores suelen ir instalados en satélites.

En Aragón existen diferentes instituciones y organismos públicos, además de empresas privadas, que desarrollan tareas relacionadas con la teledetección, ya sea desde el punto de la investigación, procesamiento de imágenes, análisis y explotación de datos satelitales, elaboración de cartografía, geoposicionamiento, etc. Dentro de las instituciones públicas se presenta a continuación la actividad del Gobierno de Aragón, la Universidad de Zaragoza y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

EL PAPEL DEL GOBIERNO DE ARAGÓN

El Gobierno de Aragón es consciente de que la gestión del amplio territorio de la Comunidad Autónoma sólo es posible a través de las tecnologías que proporcionan los Sistemas de Información Geográfi-

ca (SIG). Los SIG son herramientas que permiten a los usuarios analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Para desarrollar esta labor el Gobierno de Aragón puso en marcha el **Centro de Documentación e Información Territorial de Aragón** (CDITA), con el objetivo de obtener, organizar y difundir la documentación e información sobre el territorio aragonés, así como de conocer mejor los recursos, oportunidades y limitaciones territoriales de Aragón, y facilitar la acción política y la toma de decisiones de los agentes económicos y sociales. Uno de los principales proyectos del CDITA fue el desarrollo de un Sistema de Información Territorial corporativo a partir de las bases de datos cartográficas. A través del CDITA el Gobierno de Aragón está presente en planes nacionales como el Sistema de Ocupación de Suelos de España (SIOSE) y en el Plan Nacional de Teledetección

En materia de teledetección juega también un papel muy importante el **Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria** (CITA) organismo público de investigación propio del Gobierno de Aragón, destinado a potenciar el desarrollo agroalimentario. Su objetivo final es conseguir, mediante la investigación, el desarrollo tecnológico, la formación y la transferencia, que las explotaciones agrarias y las empresas agroindustriales innoven continuamente y con ello alcanzar que la población activa agraria, y el resto de la población rural, obtenga una mayor rentabilidad económica y, como consecuencia, una mejor calidad de vida.

Dentro del CITA se enmarca la Unidad de Suelos y Riegos, que utiliza de manera intensa las técnicas de teledetección, con proyectos de investigación en

materia de aplicaciones agrarias (como el desarrollo de metodologías para el seguimiento y evolución de los cultivos, y la aplicación de la teledetección a la mejora del manejo y gestión del uso del agua de riego) y proyectos de investigación en materia de aplicaciones ambientales (como la caracterización y seguimiento de hábitats singulares, el desarrollo de índices agroambientales y el estudio de procesos geológicos de interés ambiental).

LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

En la Universidad de Zaragoza se encuentran también algunos de los grupos de investigación aragoneses que utilizan técnicas basadas en la teledetección. Uno de estos grupos se denomina Geoforest, enmarcado dentro del Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Las líneas de investigación que desarrolla este grupo son: estudio de incendios forestales (dinámica post-fuego y riesgo de incendio), estimación de biomasa, utilización de imágenes de satélite con base empírica en trabajo experimental de campo, modelado regional, radiometría de campo, fotografía digital de alta resolución, utilización de sensores ópticos y sensores radar, etc.

Otro de los grupos de investigación en esta materia es el Grupo de Sistemas de Información Avanzados, del Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas. Su actividad se centra en Tecnología Informática para el Tratamiento de la Información GeoEspacial. Como tecnologías de base usan las infraestructuras de datos espaciales, los sistemas de información geográfica, los servicios basados en la localización, la teledetección y el tratamiento de la información geoespacial. Fruto del trabajo de investigación de este grupo se ha generado recientemente una empresa spin-off denominada GeoSpatiumLab S.L.

EL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Dentro del CSIC se identifican fundamentalmente dos centros cuya actividad se relaciona con la teledetección.

- Estación Experimental Aula Dei (EEAD), cuya actividad científica y desarrollo tecnológico se dirige principalmente a la obtención de material vegetal con características específicas y al aumento de

los conocimientos a nivel fisiológico, bioquímico y molecular de los procesos fundamentales de las plantas. Dentro de las líneas de investigación de este grupo se destacan la modelización hidrológica, la modelización de la erosión y redistribución del suelo, y la cartografía de riesgos climáticos. Este grupo utiliza técnicas de teledetección para el estudio del suelo y erosión acelerada en medios de montaña, lo que permite, por ejemplo, detectar las áreas de erosión acelerada por arroyada difusa en la montaña (cabeceras activas de barrancos, cárcavas), identificando las áreas de suelo desnudo y afloramiento de litologías lábiles mediante teledetección.

- Instituto Pirenaico de Ecología (IPE), cuyo objetivo central es el análisis de las condiciones de estabilidad en los ecosistemas y su respuesta frente a los factores que las regulan o modifican, en especial cambios producidos por el uso humano. Los investigadores de este Centro utilizan la teledetección para procesos como el estudio de la dinámica vegetal y análisis del paisaje pirenaico, recuperación de pastos, tendencias en la cubierta vegetal del Pirineo, influencia de la circulación atmosférica sobre la dinámica vegetal y sobre la cubierta de nieve, influencia de las sequías sobre la dinámica vegetal en el valle medio del Ebro, predicción de cosechas, estimación de la humedad del suelo, análisis de la recuperación post-incendio, etc.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista de una administración regional, es obvio que para el desempeño correcto de diferentes competencias como la ordenación del territorio, la preservación del medio ambiente, el impulso a la agricultura de precisión, la prevención de catástrofes naturales, etc. es imprescindible desarrollar una actividad de observación de la tierra. La teledetección se convierte en una herramienta insustituible a la hora de ejecutar cualquier política sectorial sobre el territorio y múltiples actividades de índole económica. Por lo tanto, esta información es básica, no sólo para las Administraciones Públicas, sino para los agentes sociales y, muy en especial, de los ciudadanos.

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN A LA MEJORA DEL MANEJO Y GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO EN ARAGÓN

M^a AUXILIADORA CASTERAD. *Unidad de Suelos y Riegos (asociada al CSIC). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.* **ANTONIO MARTÍNEZ-COB.** *Departamento de Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei. CSIC.*
acasterad@aragon.es

Las actuales exigencias a las que está sometida la agricultura hacen necesario un compromiso entre producción y sostenibilidad. Ello exige, entre otros, un uso eficiente de los factores de producción y una gestión adecuada de los mismos. Las imágenes de satélite y la teledetección tienen mucho que aportar a este respecto. La teledetección ya ha dejado de verse únicamente como una herramienta de control de la administración y diferentes usuarios ven en ella una fuente de datos actualizados y veraces de gran utilidad en la agricultura actual.

Dentro de la agricultura, la de regadío es una de las más interesadas en este tipo de información. A la competitividad por el agua y el suelo se unen las actuales exigencias de la Unión Europea en materias de agua y medioambientales. El uso del agua, como recurso productivo estratégico cada vez más escaso, es motivo de preocupación, siendo necesarias estrategias que permitan una optimización de la gestión de este recurso. La introducción de la teledetección en la gestión y manejo del regadío está permitiendo hoy en día mejorar el diagnóstico del cultivo y del regadío, optimizar la eficiencia en la utilización de insumos, mejorar la gestión del riego, agilizar la toma de decisiones, reducir los impactos ambientales, mejorar la conservación de los recursos naturales, etc.

Todo lo expuesto comporta la necesidad de disponer de información científica, metodologías y aplicaciones prácticas que puedan ser utilizadas por los gestores, técnicos y agricultores en la toma de sus decisiones. En ello, dentro de la línea de investigación *Aplicaciones agrarias de la teledetección*, el Grupo de Teledetección de la Unidad de Suelos y Riegos del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimen-

taria de Aragón (CITA) está trabajando desde 1989, en colaboración con el Grupo de Riego, Agronomía y Medio Ambiente de la EE Aula Dei (CSIC). Las aplicaciones que se han desarrollado están orientadas fundamentalmente al diagnóstico, manejo y control del regadío, proporcionando información territorial sobre distintos rasgos y parámetros de interés relacionados con el agua, suelo y cultivo. Dos son las líneas principales de trabajo: (i) el desarrollo de metodologías para el seguimiento y evolución de los cultivos y (ii) la aplicación de la teledetección a la mejora del manejo y gestión del uso del agua de riego.

Un aspecto esencial para cuantificar los recursos hídricos de una zona y optimizar la gestión del riego es conocer la superficie regada, estimar las superficies de cultivos y determinar el estado en el que se encuentra el cultivo. En este sentido en el CITA se han desarrollado y puesto a punto metodologías para la identificación y seguimiento de cultivos, el reconocimiento y seguimiento de áreas regadas, el seguimiento de irregularidades intraparcelares, la detección y seguimiento de estreses abióticos y la incorporación de la teledetección en la agricultura de precisión (Figura 1 y 2). Para ello, se han utilizado principalmente imágenes de media y alta resolución de los satélites Landsat (30 m), Spot (20 m) y Quickbird (2,8 m), e información adquirida en campo con equipos terrestres de teledetección como un espectroradiómetro, que proporciona datos de reflectividad, y el Greenseeker, sensor portátil que da información sobre el desarrollo del cultivo mediante un índice de vegetación, el NDVI. En *Casterad y López-Lozano (2007)*, *López-Lozano et al. (2007)*; *López-Lozano y Casterad (2002)* pueden verse con más detalle algunas de las mencionadas aplicaciones.

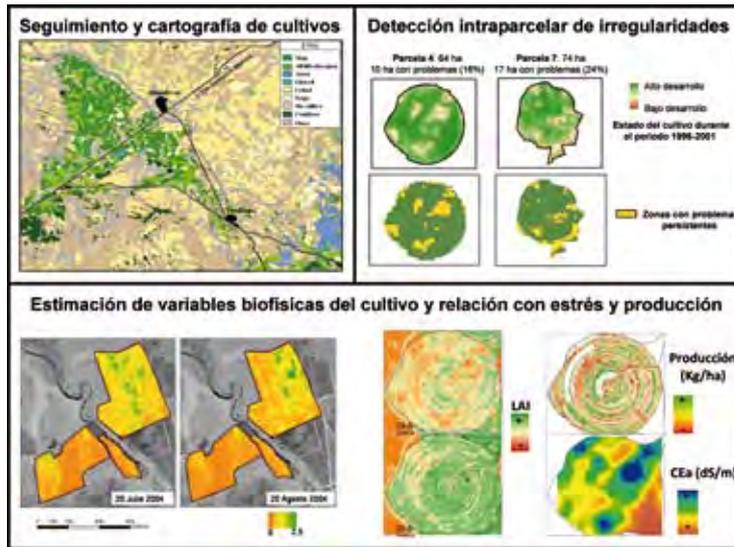


Figura 1. Seguimiento y evolución de cultivos con teledetección.



Figura 2. Aplicación para el seguimiento del cultivo en parcela mediante imágenes de satélite.

Otro aspecto importantísimo es saber el estado hídrico del cultivo. En esta línea también han trabajado los mencionados grupos de investigación viendo las posibilidades de utilización la teledetección para la estimación de la evapotranspiración y la determinación de coeficientes de cultivo, aspectos necesarios, por ejemplo, en la realización de balances hídricos y programaciones de riego, etc. En este caso se ha usado información derivada de imágenes Landsat para estimar evapotranspiración a escala regional: a) mediante modelos de balance de energía (por ejemplo, SEBAL), basados en la temperatura de la superficie vegetal obtenida de las imágenes Landsat y en datos meteorológicos registrados en zonas representativas del área de estudio (Ramos et al., 2009); y b) mediante modelos de cálculo de coeficientes de cultivo a partir de índices de vegetación obtenidos de las imágenes Landsat y de datos in situ de humedad del suelo (Campos et al., 2010, en este número); esta segunda alternativa se ha aplicado en Aragón sobre todo en leñosos.

Conocer la fisiología hídrica del polígono de riego, dato muy incompleto en casi todos los regadíos es también muy importante. No en todos los regadíos se afora el agua suministrada o utilizada, y los datos de su distribución dentro de cada polígono son de calidad dispar y a menudo inaccesibles. En esta línea, los grupos de investigación citados han desarrollado diferentes metodologías y herramientas, como Irrivol (Casterad y Herrero, 1998) que ha

permitido predecir, estimar y cartografiar volúmenes de riego (Martín-Ordóñez et al., 1998) y simular los efectos del cambio de sistema de aplicación de agua de riego y estimar el porcentaje de reutilización difusa de agua de riego en el interior de un polígono de riego (Nogués y Herrero, 1998; Nogués y Herrero 2003), cuestiones ambas de interés en el diseño de políticas hidráulicas (Figura 3).

Gran parte de estas aplicaciones han requerido el soporte de Sistemas de Información Geográfica que han permitido integrar y combinar información territorial de procedencia diversa: de campo, de satélite, cartográfica, límites administrativos, meteorológica, etc.

Un ejemplo de las posibilidades de aplicación de la teledetección en regadíos de Aragón lo tenemos en el polígono de riego de Flumen (Huesca), donde el Grupo de investigación ha desarrollado, validado y aplicado bastantes de las metodologías antes citadas. Utilizando la teledetección se han obtenido: estadísticas de superficies de cultivos; mapas de cultivos; cambios en la superficie y distribución de cultivos; estimaciones y cartografía de necesidad hídricas de cultivos y volúmenes riego; estimaciones de utilización de agua en áreas, como las huertas viejas, donde se desconoce la facturación; estimaciones de evapotranspiración; estudio de los posibles efectos de la modernización en la reutilización y ahorro del agua; seguimiento de áreas regadas, etc.

Se han expuesto brevemente algunas de las herramientas basadas en teledetección y desarrolladas

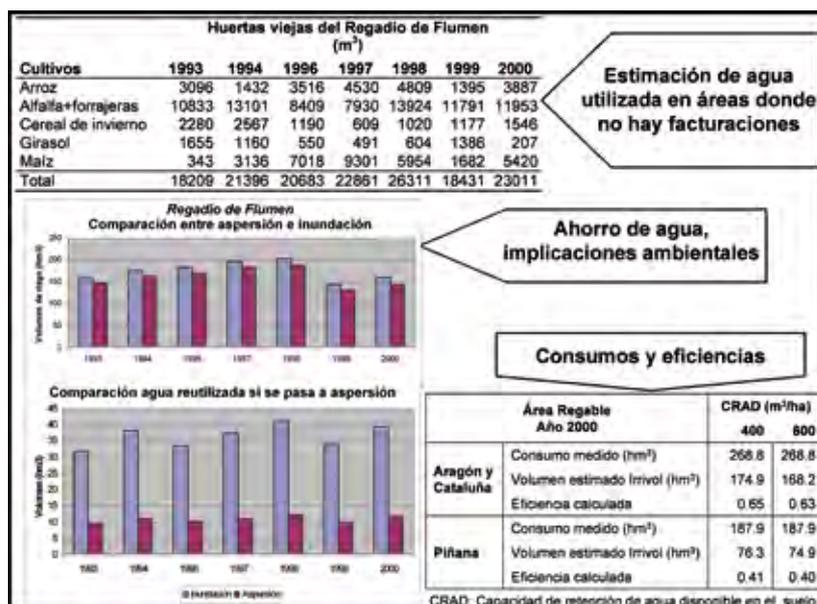


Figura 3. Algunos resultados derivados del uso de Irrivol.

por investigadores aragoneses con el objetivo de aplicarlas en la mejora del manejo y gestión del agua de riego en Aragón. Las metodologías y herramientas expuestas son una realidad y están disponibles para su uso. Hay que realizar un esfuerzo entre to-

dos, Administración, Investigadores y Usuarios, para que su utilización en el manejo y gestión diarios del agua de riego realizado por los Gestores y Usuarios sea una realidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Campos, I., Martínez-Cob, A., Casterad, M.A., Calera Belmonte, A. 2010. Estimación de la evapotranspiración de cultivos leñosos en regadío mediante teledetección en Aragón. En: Incorporación de la teledetección en la gestión del agua en la agricultura. Monográfico Riegos del Alto Aragón. Enero. 16-18.
- Casterad, M.A. y Herrero, J. 1998. Irrivol: A method to estimate the yearly and monthly water applied in an irrigation district. *Water Resources Research* 34 (11): 3045-3049.
- Casterad, M.A. y López-Lozano, R. 2007. *Seguimiento de viñas en espaldera mediante índices de vegetación y mapas de índice de área foliar derivados de imágenes de satélites de muy alta resolución espacial*. Revista Enología (Revista digital). Año IV, (4):1-9.
- López-Lozano, R., Casterad, M.A. 2002. *La modernización del riego del olivar de Belchite vista desde satélite*. Surcos de Aragón, 81: 24-27.
- López-Lozano, R y Casterad, M.A. y Herrero, J. 2007. *Relación entre desarrollo de cultivo, rasgos edáficos y rendimiento en una parcela de maíz mediante teledetección y SIG*. pp 43-50. En Rivas R. et al. (Ed.) Teledetección hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. XII Congreso Nacional de Teledetección. 489 pp. ISBN: 978-987-543-126-3.
- Martín-Ordóñez, T., Casterad, M. A. y Herrero, J. 1998. Cuantificación y cartografía de los volúmenes de agua de riego aplicados en un regadío. *XVI Congreso Nacional de Riegos*. Palma de Mallorca, junio 1998. Asociación Española de Riegos y Drenajes. Govern Balear. pp. 503-510.
- Nogués, J. y Herrero, J. 1998. Uso de información georreferenciada de suelos y de cultivos para pronosticar resultados de la modernización de un regadío a pie. *XVI Congreso Nacional de Riegos*. Palma de Mallorca, junio 1998. Asociación Española de Riegos y Drenajes. Govern Balear. pp. 519-526.
- Nogués, J. y Herrero, J. 2003. The impact of transition from flood to sprinkling irrigation on water district consumption. *Journal of Hydrology*, 276:37-52.
- Ramos, J.G., Cratchley, C.R., Kay, J.A., Casterad, M.A., Martínez-Cob, A., Domínguez, R. 2009. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of N.E. Spain. *Agricultural Water Management*. 96: 638-652.

INTEGRACIÓN DE LOS SENSORES REMOTOS EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL RIEGO. UNA APLICACIÓN EN ANDALUCÍA

M.^a PAT GONZÁLEZ DUGO y ADOLFO DÍAZ. IFAPA. Centro Alameda del Obispo. LUCIANO MATEOS. Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. SILVIA ESCUIN, FRANCISCO CANO, JOSÉ LUIS TIRADO y NICOLÁS OYONARTE. Empresa pública para el Desarrollo Agrario y Pesquero (Dap). VÍCTOR CIFUENTES. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. mariap.gonzalez.ext@juntadeandalucia.es

La gestión del riego, en el marco de un uso sostenible del agua, requiere una minuciosa comprensión de los flujos de agua que se producen en el sistema suelo-planta-atmósfera. La precisión con la que se determinen los componentes del balance de agua definirá la calidad del análisis posterior y de las decisiones que se tomen con esta base. En el caso de grandes cuencas o zonas regables, se presenta además la dificultad de la extensión y la complejidad del ámbito de estudio. La teledetección proporciona información capaz de mejorar el uso del balance de agua gracias a la mejora de las estimaciones de la evapotranspiración real de los cultivos en regadío, y a la posibilidad de extender el análisis a grandes zonas. Por un lado, los avances en resolución espectral, espacial y temporal de los sensores remotos permiten hoy detectar propiedades de los cultivos relacionadas con su crecimiento. La frecuencia de medida puede ser alta y la resolución espacial suficiente para distinguir características individuales de parcelas, llegando a mostrar en ocasiones las variaciones que se presentan dentro de una misma parcela. Por otro lado, la puesta a punto de modelos sencillos y robustos para estimar la evapotranspiración real usando índices de vegetación obtenidos de los sensores, unido a estimaciones de la evapotranspiración de referencia con estaciones meteorológicas, da confianza para el análisis integrado de la gestión del riego por niveles de gestión relacionados hidrológicamente, desde parcela a zona regable o cuenca.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

El modelo empleado para estimar la evapotranspiración fue desarrollado en un estudio dentro de la

Zona Regable del Bajo Guadalquivir (González-Dugo y Mateos, 2008). Se basa en el procedimiento propuesto por FAO, que calcula la ET como el producto de un coeficiente de cultivo y una evapotranspiración de referencia. Los valores de evapotranspiración de referencia (ET_o, mm) se determinan mediante la ecuación de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) y el coeficiente de cultivo se deriva usando un método dual. Este método separa la transpiración del cultivo (representado por el coeficiente de cultivo basal, K_{cb}) de la evaporación desde el suelo, mediante la siguiente fórmula:

$$ET = (K_{cb}K_s + K_e)ET_o$$

donde K_s cuantifica la reducción en la transpiración del cultivo debida al déficit de agua en el suelo y K_e es el coeficiente de evaporación desde el suelo.

El cálculo de K_e requiere información sobre la ocurrencia de humedecimiento del suelo por riego o lluvia. Es necesario disponer, por un lado, de datos de lluvia procedentes de una estación meteorológica cercana y, por otro lado, de las fechas y cantidades de agua aplicadas en forma de riego en cada parcela. Dado que esta información no está disponible en aplicaciones a escala de zona regable o cuenca, se ha realizado un balance de agua asumiendo prácticas de riego típicas, en los términos que se especifican más adelante.

El coeficiente de cultivo basal se ha derivado de la respuesta espectral de la cubierta vegetal proporcionada por las imágenes de satélite. De entre las diversas propuestas de índices de vegetación, se ha optado por el índice SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) cuya idoneidad para los objetivos de este trabajo ha sido contrastada en estudios anteriores llevados a cabo dentro de la cuenca (González-Dugo y Mateos, 2008).

La precisión de este modelo se ha evaluado en algunos cultivos herbáceos (soja, maíz, *González-Dugo et al., 2009*) y leñosos (un modelo similar fue aplicado en viña, *Campos et al., 2009*) comparando los valores de ET estimados con los medidos en campo mediante torres que utilizan el sistema de covarianza de torbellinos para la estimación de los flujos de energía. En ambos casos se han obtenido buenos resultados que animan a extender esta comprobación a otros cultivos, como cítricos u olivar, actualmente en estudio.

EXTENSIÓN A ESCALA DE CUENCA

Una simplificación de este modelo se ha aplicado a una extensa zona dentro de la cuenca del Guadalquivir durante los años 2007 y 2008 (Figura 1). Actualmente se está abordando su ampliación a la cuenca completa para la campaña de riego 2009.

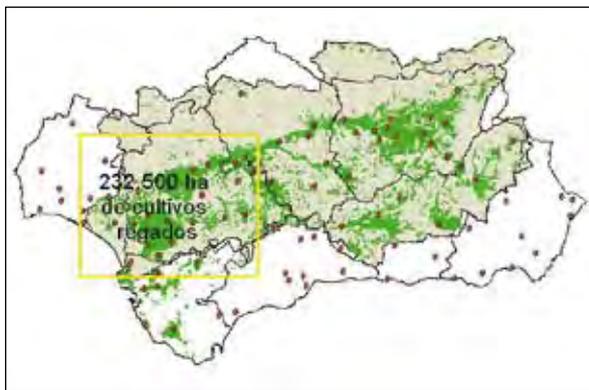


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Procesamiento de las imágenes y clasificación de Cultivos

Durante las campañas 2007 y 2008, se seleccionó un conjunto de imágenes de satélite (un total de 10 cada año, listadas en las Tablas 1 y 2).

SENSOR	CÓDIGO DE LA IMAGEN	FECHA DE ADQUISICIÓN
IRS Awifs	16-43	05-mar-08
L5TM	202-34	05-abr-08
IRS Awifs	13-41	01-may-08
L5TM	202-34	08-jun-08
L5TM	202-34	24-jun-08
L5TM	202-34	10-jul-08
L5TM	202-34	26-jul-08
L5TM	202-34	11-ago-08
L5TM	202-34	27-ago-08
L5TM	202-34	12-sep-08

SENSOR	CÓDIGO DE LA IMAGEN	FECHA DE ADQUISICIÓN
L5TM	202-34	18-mar-07
IRS P6 Liss III	15-43/44	30-mar-07
L5TM	202-34	19-abr-07
L5TM	202-34	05-may-07
L7ETM	202-34	29-may-07
L5TM	202-34	22-jun-07
L5TM	202-34	8-jul-07
L5TM	202-34	24-jul-07
L5TM	202-34	09-ago-07
L5TM	202-34	10-sep-07

Tablas 1 y 2. Imágenes de satélite seleccionadas para las campañas 2007 y 2008.

Idealmente se requieren al menos dos imágenes al mes para abordar un seguimiento regular del crecimiento de los cultivos, pero no siempre es posible alcanzar esta periodicidad, especialmente durante la primavera, dada la necesidad de que las imágenes correspondan a días completamente despejados de nubes. En ambos años fue necesario recurrir a sensores diferentes del inicialmente previsto (TM del satélite Landsat-5) para aumentar la frecuencia de los datos y disponer al menos de una imagen por mes.

Todas las imágenes fueron corregidas de los efectos de la atmósfera y de distorsiones geométricas con el fin de dotarlas de coordenadas reales que permitieran un análisis multitemporal y su combinación espacial con otras fuentes de datos usadas en el análisis, como el SIGPAC o el Inventario de Regadíos (*Campos et al., 2009*).

Algunas de estas imágenes se emplearon para determinar el tipo de cultivo en cada parcela (Figura 2).

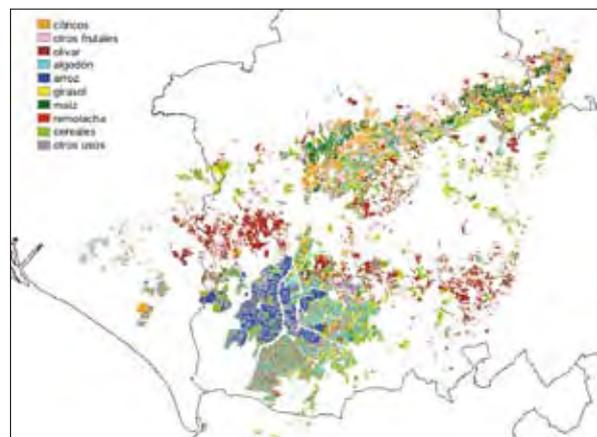


Figura 2. Clasificación de cultivos para la campaña 2008.

El método de clasificación de cultivos herbáceos se desarrolló basándose en información suministrada por los agricultores para las subvenciones agrarias y, para cultivos permanentes, localizándolos a través de las bases de datos espaciales existentes (SIG-citrícola, SIG-oleícola y SIG-PAC).

Aplicación del modelo de ET a la Cuenca del río Guadalquivir

La dificultad de obtener la información requerida en el modelo original para un gran número de parcelas, como sería necesario en esta aplicación a escala de cuenca, ha llevado a formular un modelo sintético de coeficiente de cultivo. Este modelo parte del coeficiente de cultivo basal y formula una relación $K_{cb} - K_c$ a partir de múltiples simulaciones del balance de agua en el suelo para una parcela estándar. De esta manera se tiene en cuenta además del porcentaje de cobertura del suelo, la frecuencia de lluvia y una frecuencia (y fracción de humedecimiento) de riego entendida como típica, esto es, los principales factores que afectan al coeficiente de evaporación K_e .

Por otra parte, algunos cultivos con características particulares, como el arroz y el olivo, requirieron adaptaciones del modelo para contemplar, de un lado, la lámina de agua que cubre el suelo en el caso de los arrozales, lo que incrementa sustancialmente

la evaporación de los mismo, y, de otro lado, las variaciones en transpiración que muestran los olivos a lo largo del año (Testi, L., 2003).

La Figura 3 muestra los resultados de evapotranspiración estacional obtenidos en 2008. Estos datos, junto a los resultados decenales a lo largo del periodo de estudio, la información distribuida por tipos de cultivos y límites de gestión -por ejemplo de zonas regables-, permiten conocer mejor el consumo de agua en estos regadíos y llevar a cabo múltiples análisis de interés para los técnicos responsables de su gestión.

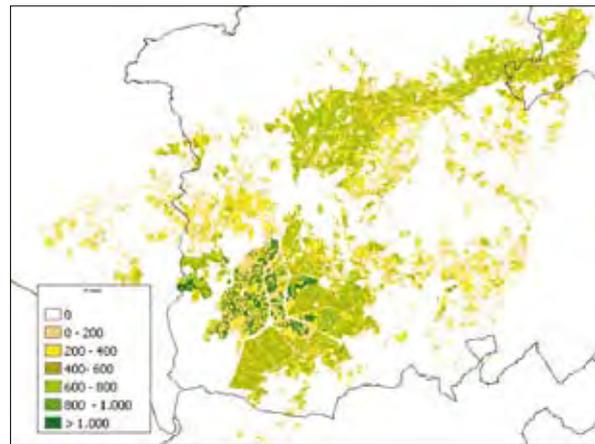


Figura 3. ET acumulada en el periodo 5 marzo al 12 septiembre 2008.

BIBLIOGRAFÍA

- González-Dugo M.P. y L. Mateos, 2008. Spectral vegetation indices for benchmarking water productivity of irrigated cotton and sugarbeet crops. *Agricultural Water Management* 95: 48-58.
- Allen R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Roma, Italia.
- González-Dugo M.P., C.M.U. Neale, L. Mateos, W.P. Kustas, J. Prueger, MC Anderson, F. Li, 2009. A comparison of operational remote sensing-based models for estimating crop evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149:1843-1853.
- Campos I., C.M.U. Neale, A. Calera, C. Balbontín y J. González-Piqueras, 2009. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.) *Agricultural Water Management* (enviado a *Agricultural Water Management*).
- Empresa Estatal Aguas del Guadalquivir y E.P. Desarrollo Agrario y Pesquero, 2008. Identificación, caracterización y desarrollo de un Sistema de Información Geográfica de los Regadíos de la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir. CHG.
- Testi, L., 2003. Medida y Modelización de la Evaporación en Plantaciones de Olivo (*Olea europaea* L.). Tesis doctoral. ETSI Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la financiación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir a través de la "Asistencia Técnica para la detección de regadíos y evaluación de la evapotranspiración mediante técnicas de teledetección" y del proyecto RTA2005-047.

TELEDETECCIÓN EN LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE REGADÍO

ALFONSO CALERA e ISIDRO CAMPOS. *Universidad de Castilla La Mancha.*
alfonso.calera@uclm.es

La gestión del agua en la agricultura se enfrenta a importantes retos y presiones. La respuesta requiere darse mediante la gestión integrada de recursos hídricos. Ante esos retos, nuevas tecnologías pueden ofrecer nuevas perspectivas interesantes. La aplicación en casos concretos que se presentan aquí muestra cómo la combinación de tecnologías de Observación de la Tierra mediante satélites y los Sistemas de Información Geográfica embebidos en la web, pueden proporcionar herramientas que ayuden en la toma de decisiones en las diferentes escalas y ámbitos donde es necesaria la actuación en la gestión del agua en la agricultura de regadío.

Treinta y cinco años desde el lanzamiento del primer satélite de Observación de la Tierra, la tecnología está madura para su uso operativo. El desarrollo científico ha hecho posible derivar desde las imágenes de satélite los mapas de cultivos regados, la evapotranspiración de un cultivo de regadío y por tanto establecer la óptima cantidad de agua a aplicar, combinando la información del satélite con la información desde las estaciones agrometeorológicas del Servicio Integral de Asesoramiento de Riegos del MARM. Y es posible hacerlo en solamente un día tras la adquisición de la imagen por el sensor. Además, y casi tan relevante como lo anterior, el uso de las tecnologías web-SIG actuales permiten poner esa información en manos del agricultor y/o del gestor, prácticamente de forma instantánea, abarcando miles de parcelas y miles de kilómetros cuadrados. Y además introduce a un sector agrario en el uso de estas tecnologías, que puede crear empleo de alto valor añadido y, sorprendentemente, es barato.

APLICACIÓN OPERATIVA DEL USO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

El control de la superficie regada

Probablemente el control de la superficie regada es la más clásica de las aplicaciones de la Teledetección en la gestión del agua, y permite obtener desde las imágenes de satélite un mapa temático digital que describa la distribución espacial de las diferentes cubiertas y/o usos de suelo presentes en un área determinada. En el caso del acuífero Mancha Oriental un acuerdo administración-regantes desde 1998, en el que participan la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), el Gobierno Regional de Castilla La Mancha, la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRMO) y la Universidad de Castilla La Mancha ha posibilitado el denominado modelo de seguimiento mediante teledetección del acuífero Mancha Oriental, que ha permitido la regularización de los regadíos y el control de las superficies en regadío, como se observa en la Figura 1.

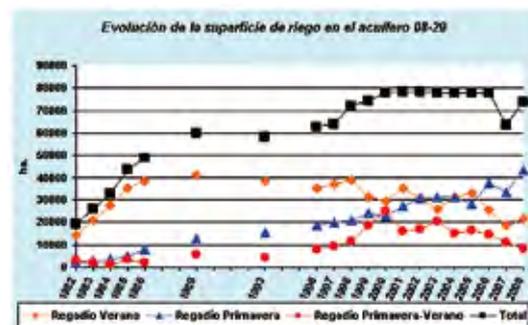


Figura 1. Evolución de la superficie en riego (cultivos herbáceos) identificada mediante teledetección en el acuífero 08-29 desde 1982 hasta 2009, separada en clases según sus necesidades hídricas de riego.

El Servicio de Asesoramiento de Riegos Asistido por Satélite (e-SARAS®)

El diagrama de flujo de las Figuras 2 y 3 muestra esquemáticamente la solución adoptada para la integración de la información derivada de las imágenes de satélite en el funcionamiento del SAR actual, para dar lugar a lo que se ha denominado *Servicio de Asesoramiento de Riegos Asistido por Satélite* (e-SARAS®). Dicha integración se realiza estimando desde las imágenes el coeficiente de cultivo.



Figura 2. Inserción de las Tecnologías de Observación de la Tierra y Tecnologías de la Información en los Servicios de Asesoramiento de Riegos (de CALERA, et al. 2005).



Figura 3. Diagrama esquemático del funcionamiento del Servicio de asesoramiento de Riegos Asistido por Satélite, e-SARAS®.

Un ejemplo de la información que se proporciona se muestra en la Figura 4. A dicha información se puede acceder asimismo mediante un teléfono móvil con prestaciones suficientes para ello mediante una aplicación desarrollada específicamente para este fin, tal y como se muestra en la Figura 5. Asimismo el sistema permite generar informes de manera cuasi-automática, informes que pueden adaptarse a las necesidades de los usuarios.

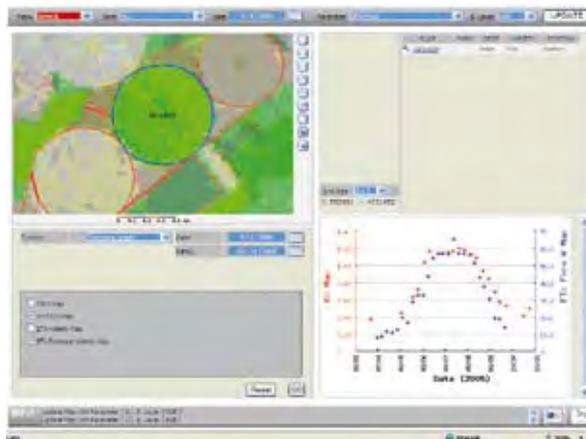


Figura 4. Información visual y numérica que proporciona el sistema e-SARAS®. Remarcada en azul, una parcela de maíz que presenta diferencias entre unas zonas y otras; en la gráfica, la evolución del coeficiente de cultivo derivado de las imágenes de satélite para esa parcela y las necesidades hídricas semanales derivadas de dicha información.



Figura 5. Acceso a la información generada por el sistema e-SARAS® mediante teléfono móvil, tanto información gráfica como numérica, en similar forma a la que se puede acceder mediante internet.

La estimación del volumen de agua para riego utilizada

El sistema tradicional para medir y controlar el agua utilizada es colocar caudalímetros o contadores volumétricos en cada punto origen de agua. El uso de la teledetección y los SIG proporciona un método complementario y/o alternativo al de los caudalímetros. El método se basa en el procedimiento clásico que consiste en asignar unas necesidades hídricas para riego a cada cultivo en función de la precipitación, demanda atmosférica y sistema de riego a lo largo de su ciclo de crecimiento. Además se puede aplicar directamente los coeficientes de cultivo derivado de las imágenes de satélite, lo que junto a la información agrometeorológica conduce a la estimación de las necesidades de agua del cultivo, como se muestra en la Figura 6. Esta metodología se viene aplicando rutinariamente por la CHJ y JCRMO en el acuífero Mancha Oriental para el seguimiento del Plan de Explotación del Acuífero.

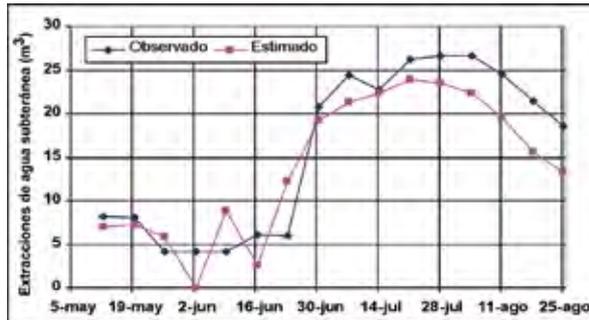


Figura 6. Consumo de agua subterránea observado mediante caudalímetro y estimado por teledetección en una parcela experimental de regadío de verano, p.ej. maíz (40,7 ha). Año 2006. Tomada de CASTAÑO, et. al (2007).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Las experiencias descritas en este trabajo muestran la aplicación operacional de estas herramientas en la detección de las superficies regadas, en la estimación de los consumos hídricos y en la aplicación en los Servicios de Asesoramiento de Riego, tres aspectos esenciales en la gestión del agua y en el incremento en la eficiencia en su uso. Asimismo, se muestran como poderosas herramientas que facilitan la participación y la transparencia, al permitir compartir la información de manera interactiva, facilitando la toma de decisiones y la prevención y resolución de conflictos.

El coste de instalación de estas nuevas tecnologías es muy pequeño, prácticamente despreciable, si se lo compara con los costes de producción agraria, incluso con los costes del agua y de energía, así como con los costes de modernización de regadíos o simplemente con los costes de mantenimiento, sin considerar siquiera la inversión, de sistemas clásicos de control como los caudalímetros.



BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. & Smith M. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO-56. (versión original en inglés: 1998).
- Calera, A. & Martín de Santa Olalla, F. 2005. Uso de la Teledetección en el Seguimiento de los Cultivos de Regadío. Cap. XIV en: Santa Olalla, López y Calera, (Ed.) "Agua y Agronomía". Mundiprensa.
- Calera, A.; Jochum, A.; Cuesta, A.; Montoro, A. & López Fuster, P. 2005. Irrigation management from space: Towards user-friendly products. *Irrigation and Drainage Systems*, 19; 337-354.

AGRADECIMIENTOS

Las experiencias que se describen han sido adquiridas en el transcurso de una serie de proyectos en el que los autores hemos estado involucrados, junto con otros equipos. Entre otros proyectos, destacan ERMOT, financiado por los usuarios, los del plan nacional español de Ciencia y Tecnología, MORE, TeSoRo y EBHE, y los proyectos europeos DEMETER (2002), www.demeter-ec.net, que continúa y amplía su desarrollo en PLEIADeS (2006), www.pleiades.es.

ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVOS LEÑOSOS EN REGADÍO MEDIANTE TELEDETECCIÓN EN ARAGÓN

ISIDRO CAMPOS y ALFONSO CALERA. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla La Mancha. ANTONIO MARTÍNEZ-COB. Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental de Aula Dei. CSIC. M.ª AUXILIADORA CASTE-RAD. Unidad de Suelos y Riegos (asociada al CSIC). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. isidro.campos@uclm.es

Las metodologías de asesoramiento sobre consumo de agua basadas en el uso de imágenes de satélite ofrecen una herramienta eficaz, ya validada en multitud de cultivos herbáceos en distintas áreas agrícolas (Cuesta *et al.*, 2005; Er-Raki *et al.*, 2007; González-Dugo and Mateos, 2008; González-Pique-ras, 2006), además de permitir la gestión de grandes áreas agrícolas en tiempo real y con pocas necesidades de recursos. Su aplicación en cultivos leñosos, aunque no tan avanzada, ya cuenta con resultados satisfactorios que permiten ser optimistas respecto a su operatividad futura.

Aragón se ha sumado a este reto evaluando la aplicación en leñosos de un modelo para la estimación de la evapotranspiración de los cultivos herbáceos a

partir de imágenes de satélite en dos plantaciones comerciales en regadío, una de olivar en seto y otra de uva de mesa (Fotos 1 y 2), ubicadas en Sástago y Caspe (Zaragoza) respectivamente. Los trabajos han sido realizados por la Unidad de Suelos y Riegos del CITA y el Grupo de Riegos, Agronomía y Medio Ambiente de la Est. Exp. Aula Dei en colaboración con el Instituto de Desarrollo Regional de Albacete, para los años 2004-2005 y 2007. El manejo del riego y demás prácticas agrícolas en dichas plantaciones las realizaron los propietarios de las fincas.

La evapotranspiración de los cultivos (ET_c) constituye las necesidades hídricas brutas del cultivo para un desarrollo óptimo y se calcula como el producto de la evapotranspiración de referencia (ET_0) y el coefi-



Foto 1. Plantación de olivar en seto (cultivar Arbequina) en la finca GERTUSA, Sástago (Zaragoza).



Foto 2. Plantación de uva de mesa bajo malla (cultivar Red Globe) en la finca Santa Bárbara, Caspe (Zaragoza).

ciente de cultivo (K_c) (Allen *et al.*, 1998): $ET_c = ET_0 \times K_c$. La evapotranspiración de referencia se refiere a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme (12 cm), creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. El K_c expresa la proporción entre la evapotranspiración de la superficie cultivada y la de la superficie de referencia.

En las mencionadas plantaciones se realizaron estimaciones diarias de la ET_c según el modelo propuesto. Para ello, se obtuvo la ET_0 diaria desde estaciones agrometeorológicas de la red SIAR cercanas a las parcelas de estudio, y se estimó el K_c diario como la suma de un coeficiente basal debido a la transpiración del cultivo (K_{cb}), ajustado mediante un coeficiente reductor en función de su grado de estrés hídrico (K_s), y un coeficiente debido a la evaporación directa de agua desde la superficie del suelo (K_e).

La novedad frente a los métodos tradicionales de estimación de la evapotranspiración fue la utilización de la teledetección. Concretamente, se extrajo un índice de vegetación de diferencia normalizada, el NDVI, de imágenes del satélite Landsat, con el que se determinó el K_{cb} adaptado a las condiciones de crecimiento del cultivo ($K_{cb,ref}$) mediante una relación lineal desarrollada y validada para cultivos herbáceos extensivos (Bausch and Neale, 1987). El NDVI es un índice que proporciona información sobre el desarrollo y vigor de la vegetación. Se calcula a partir de los valores de reflectividad del dosel vegetal obtenidos en longitudes de onda del rojo e infrarrojo cercano. Para la estimación del coefi-

ciente K_s se utilizó un modelo de balance hídrico diario siendo necesario incluir información relativa al estado de humedad del suelo y a la profundidad de raíces.

La validación de los resultados obtenidos se realizó mediante su comparación con los valores de K_c y ET_c medidos en las parcelas objeto de estudio. Las medidas de estas dos variables se realizaron mediante métodos micrometeorológicos durante los periodos analizados.

Como puede apreciarse en la Figura 1, se obtuvo una gran similitud entre las estimaciones de K_c obtenidas de imágenes de diferentes fechas y los valores medidos en las plantaciones. Durante el periodo estudiado los valores fueron comparables y las tendencias análogas. En la Figura 2 puede verse el resultado final, las estimaciones de la evapotranspiración del cultivo, y la comparación de los valores semanales de ET_c medidos y estimados a lo largo de las campañas de medida de cada cultivo. Únicamente se observó una cierta sobrestimación de la ET_c tras algunas lluvias. Probablemente ello se deba a la repercusión de la evaporación desde el suelo. Estas sobrestimaciones no afectan a la validez del modelo propuesto pues su magnitud es relativamente pequeña y serían fácilmente subsanables para aumentar aún más la precisión del modelo.

Como se ve, es posible obtener estimaciones razonables de la evapotranspiración en la vid y el olivo, cultivos leñosos, con un modelo como el aquí expuesto y utilizar la información obtenida para adecuar el manejo del riego a las necesidades del cultivo.

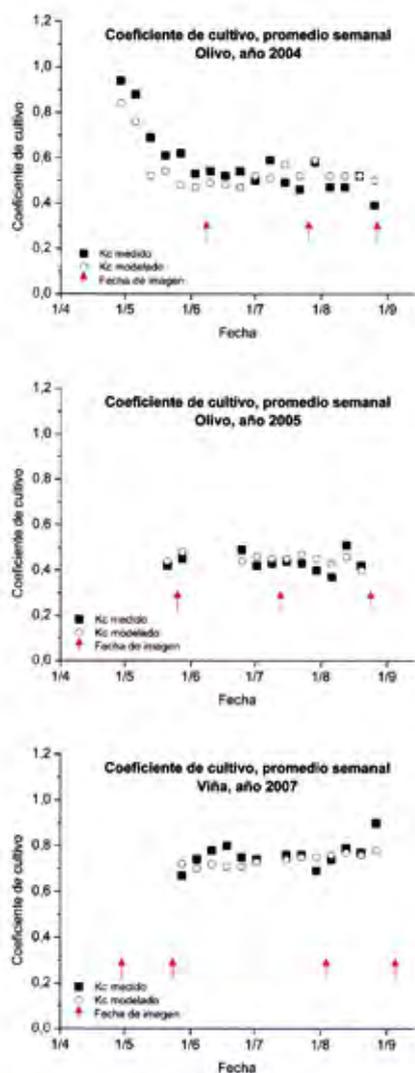


Figura 1. Comparación de Kc semanal para olivo y viña en los periodos de medida.

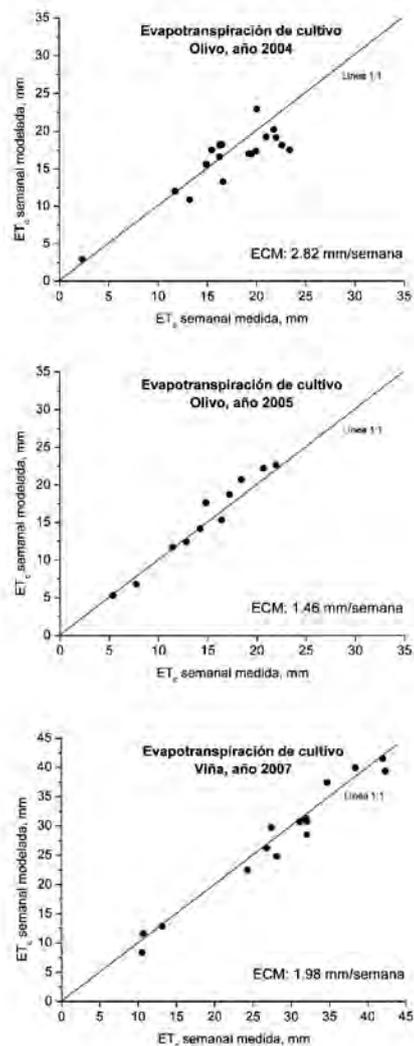


Figura 2. Comparación de ET_c semanal medida y modelada para olivo y viña en los periodos de medida. El error promedio (ECM) se muestra como milímetros por semana (mm/semana).

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Bausch, W.C. and Neale, C.M.U., 1987. Crop coefficients derived from reflected canopy radiation - a concept. Transactions of the ASAE, 30(3): 703-709.
- Cuesta, A., Montoro, A., Jochum, A.M., López, P. and Calera, A., 2005. Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. ITEA, 101(2): 91-100.
- Er-Raki, S. et al., 2007. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. Agricultural Water Management, Volume 87, Issue 1, 10 January 2007, Pages 41-54, 87(1): 41-54.
- González-Dugo, M.P. and Mateos, L., 2008. Spectral vegetation indices for benchmarking water productivity of irrigated cotton and sugarbeet crops. Agricultural Water Management, 95(1): 48-58.
- González-Piqueras, J., 2006. Evapotranspiración de la cubierta vegetal mediante la determinación del coeficiente de cultivo por teledetección. Extensión a escala regional: Acuífero 08.29 Mancha Oriental. Tesis Doctoral Thesis, Universitat de València.

FARMSTAR, SERVICIO OPERATIVO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN APLICADA A LA PARCELA, EL ABONO Y EL RIEGO

JOAN ROMEU. Infoterra SGSA. joan.romeu@infoterra.es

La agricultura es una profesión, y una forma de vida, de retos e ingresos no garantizados. Algunos retos son los mismos en todo el planeta: cambio climático, escasez y encarecimiento de los recursos, competencia agresiva, consumidores cada vez más exigentes y regulaciones más estrictas.

La teledetección espacial ha prometido mucho y entregado resultados que, si bien son interesantes, no han permitido hasta la fecha operar de un modo fiable e industrial, es decir, rentable. La agricultura de precisión se entiende desde varias vertientes, desde Infoterra la vemos como un conjunto de actividades encaminadas a ofrecer un servicio, en tiempo útil y rentable en su extensión.

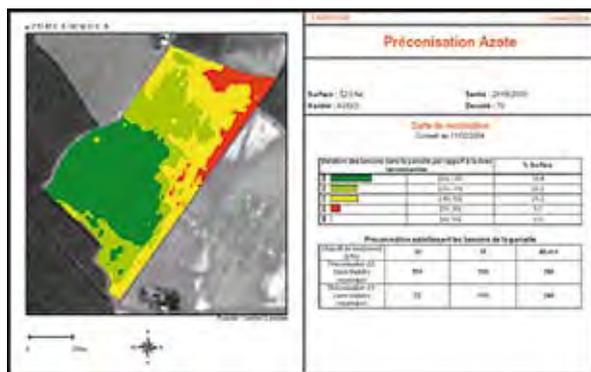


Figura 1. Mapa para la distribución de unidades de nitrógeno en una parcela determinada.

Los cultivos están ligados a su localización: distintos suelos, distribución de cultivos, condiciones climáticas, prácticas de gestión y técnicas de cultivo. Dado que la presión está aumentando hacia lo ecológico, ¿por qué no sacar partido de ello y mejorar también su sostenibilidad?

No es sencillo planificar de antemano, ya que los imprevistos que limitan la productividad surgen de forma rápida y sólo una detección temprana, y a tiempo, reduciría su impacto. Disponer de información permite tomar las decisiones correctas en el momento oportuno. Para Infoterra, un control efectivo se fundamenta en la anticipación y en una esmerada observación a tiempo parcela a parcela (Figura 1).

La oferta de Infoterra desarrollada en Francia, Farmstar, se basa en conocer lo que ocurre en cada metro cuadrado de las parcelas y para cada uno de los cultivos. Se observa cada variación del suelo y el ritmo de crecimiento del cultivo, y se localizan las áreas de bajo crecimiento, malas hierbas, insectos y enfermedades, lo que ayudará a prever el rendimiento y la calidad de la cosecha.

Todo ello a través de un proceso que va desde la adquisición de información vía satélite a la tierra, pasando por nuestro centro de procesamiento de datos geográficos; hasta el trabajo conjunto de nuestros especialistas y los agrónomos (Figura 2).

Para ayudar a la toma de decisiones, Infoterra suministra los informes y los mapas precisos contratados en un periodo entre 48 y 72 horas. Gracias a ello se puede evaluar la salud de los cultivos de una zona de producción a otra, comparar parcelas, medir la biomasa, ajustar las dosis de nitrógeno a las necesidades de crecimiento del cultivo, tomar las medidas necesarias contra las plagas desde sus primeros indicios, adaptar el riego a la maduración, llevar un seguimiento de los progresos, comparar un año con otro y así asegurarse el éxito en el futuro.

Los cultivos que actualmente se están analizando y disponen de nuestro servicio son trigo, cebada, arroz, maíz, soja, caña de azúcar, remolacha y viña.

Nuestra prioridad es proporcionar las herramientas adecuadas para ayudar a obtener los mejores resultados. Estudiamos los objetivos y las condiciones específicas de cada agricultor: cultivos, tamaño medio de las tierras, calendario de cultivo y prácticas técnicas. Ofrecemos el estado del cultivo en las distintas fases de crecimiento.



Figura 2. Proceso completo del satélite de teledetección y los conocimientos agronómicos hasta su aplicación incluso con herramientas GPS.

Infoterra con sus más de 20 años de experiencia en la recopilación y procesamiento de información geográfica es garantía de éxito, protegemos el medio ambiente y sus intereses. Hemos desarrollado una serie de conceptos y metodologías que permiten utilizar, a partir de imágenes satelitales combinadas con imágenes hiperespectrales, la función clorofílica de las plantas como un indicador absoluto y no relativo (como son los índices de vegetación. Figura 3).

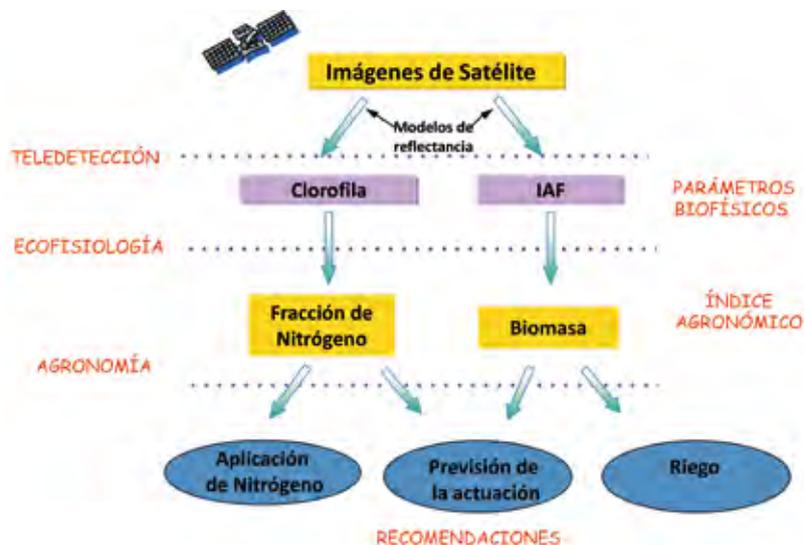


Figura 3. Proceso diferencial descompuesto en las etapas del conocimiento.

Otra parte objetivamente más complicada en la elaboración de información para agricultura de precisión, es la logística y la operativa, lo que hemos llamado tiempo útil. Es decir, el conjunto de tiempo sumado de todos los procesos que intervienen, incluidas las variables meteorológicas durante la adquisición de información aerotransportada y satelital.

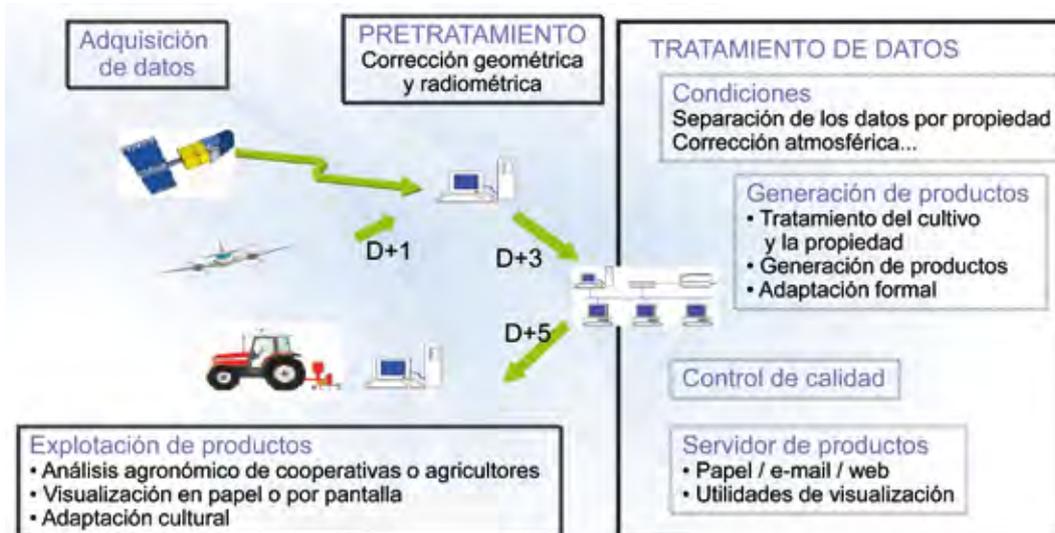


Figura 4. Tiempos empleados en los distintos eslabones de la cadena de producción de datos.

Ejemplos de aplicación de Farmstar en España, si bien es cierto que la agricultura es una actividad común, no lo es tanto las prácticas culturales, las variedades y sobre todo, la climatología.

Para el Maíz, por ejemplo, se desarrolla más los servicios de control del riego en regadíos por aspersión, frente a otros elementos y servicios realizables para otros cultivos (tumbado en trigo, abonado de cobertera) donde la incidencia en la producción es distinta (Figura 5).



Figura 5. Pívot en zona de cultivo de maíz con áreas en diferente estado de maduración y que requiere tiempos de riego distintos.

Para la Viña se ha desarrollado un conjunto de servicios específicos llamado OENOVIEW. Los mismos principios del Farmstar son de aplicación en el viñedo, a excepción de la resolución de las imágenes de satélite, la cual es mucho mayor, de 1 a 4 metros (Figura 6).

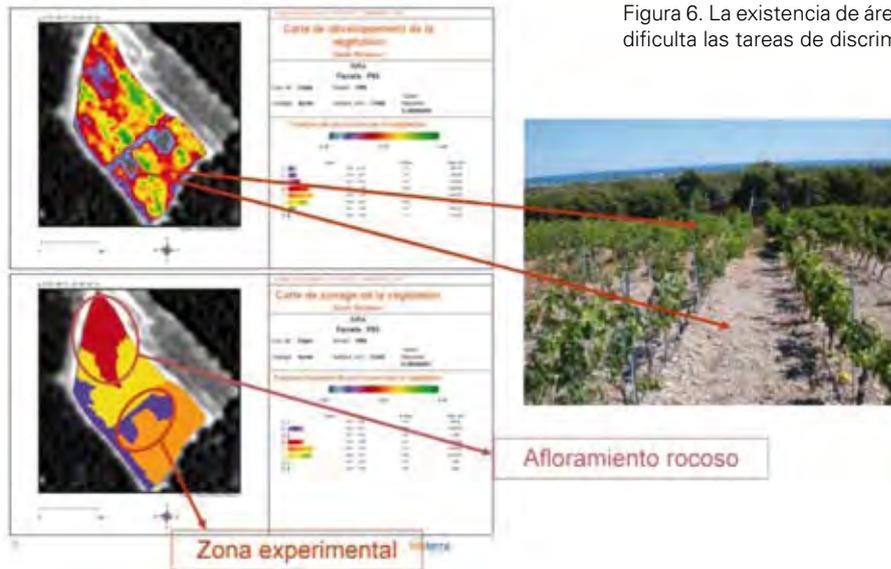


Figura 6. La existencia de áreas no homogéneas en los viñedos dificulta las tareas de discriminación de las zonas a analizar.

Hemos desarrollado un producto especial para la viña que aconseja sobre la instalación de esquemas de regadío adaptados al suelo. Las Figura 7 y 8 muestran las diferencias en crecimiento y los cambios introducidos en el esquema de riego al año siguiente.

Los servicios que ofrece Infoterra en España se adaptan a las condiciones económicas, climáticas y a las diversidades de nuestro país, aunque siempre con la misma filosofía: "Dar servicio a la cooperativa y al agricultor".

Infoterra, como operador de satélites y aglutinador de especialistas en agricultura, accede a sus constelaciones de satélites para ofrecer los servi-

cios en tiempo útil al cliente. Farmstar es un éxito en Francia y cubre más de 500.000 Ha contratadas por 10.000 agricultores. Los precios medios oscilan entre 8 y 15 €/Ha según el nivel de servicios requerido. También disfrutan de este servicio en Argentina, Australia, Brasil, Canadá y EEUU.

Todas estas nuevas técnicas conducen a un nuevo horizonte donde la teledetección se integra en la Agricultura como otro ítem más en la cadena de valor, y ésta llega al agricultor ya preparada para su uso en ordenadores u sistemas de distribución y/o recolección gestionados con herramientas GPS.

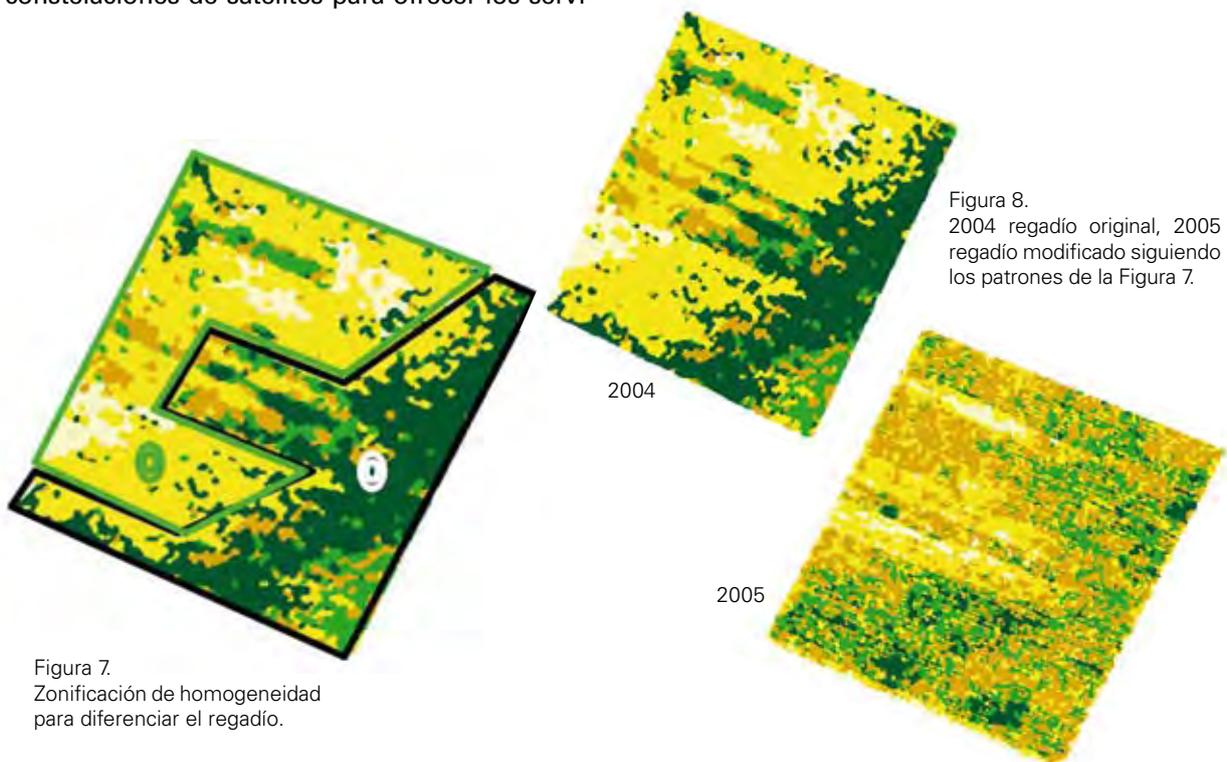


Figura 7. Zonificación de homogeneidad para diferenciar el regadío.

Figura 8. 2004 regadío original, 2005 regadío modificado siguiendo los patrones de la Figura 7.



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural

