

# PROYECTO DIANA: Detección de superficies regadas y estimación del consumo de agua mediante series temporales de imágenes

El objetivo es detectar las superficies regadas sin autorización, tanto aquellas que no tienen derecho de riego en vigor, como las que sí lo tienen pero utilizan un volumen de agua superior al autorizado en la concesión

Anna Osann<sup>2</sup>, Alfonso Calera<sup>1</sup>, Jesús Garrido-Rubio<sup>1</sup>, María Calera<sup>2</sup>, María Llanos López<sup>2</sup>, Pedro Olivas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Remote Sensing & GIS Group, Institute for Regional Development, University of Castilla-La Mancha (UCLM)

<sup>2</sup> AgriSat Iberia SL

<sup>3</sup> Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental

Correspondencia: Alfonso.Calera@uclm.es

## RESUMEN

El proyecto DIANA tiene entre sus objetivos el de facilitar la detección de superficies regadas no autorizadas mediante técnicas de Observación de la Tierra. Entre estas superficies regadas sin autorización están, por un lado, aquellas que son efectivamente regadas, pero no tienen derecho de riego en vigor. Por otro lado, están aquellas otras que, aun teniendo derecho de riego, el volumen de uso del agua que se hace en ellas para riego es superior al autorizado en la concesión.

En el proyecto DIANA las series temporales de imágenes, como las adquiridas por la constelación de satélites Sentinel 2 del programa COPERNICUS de la Comisión Europea, constituyen la información base para la identificación y mapeo de las superficies regadas, así como para estimar los consumos de agua que en ellas se producen. La superposición del mapa de superficies regadas y del mapa de consumos de agua, con la capa de los derechos de riego y el volumen autorizado en la concesión, permitirá la detección de superficies no autorizadas de ambos tipos.

Adicionalmente a estos productos, la serie de imágenes que describen el crecimiento de los cultivos son en sí

Figura 1. Zonas piloto del proyecto DIANA en España.



mismas herramientas valiosas para seguir el cumplimiento del Plan de Explotación Anual, así como un instrumento del Jurado de Riegos en manos de los propios agricultores y autoridades, realizando una eficaz contribución a la gestión del agua.

En este trabajo se describen avances logrados en DIANA para la identificación de superficies regadas y su consumo de agua, así como el análisis de la contribución de las series de imágenes a la gestión del agua.

Palabras clave: Teledetección, Detección superficies regadas no autorizadas, Necesidades de agua

## INTRODUCCIÓN

El art. 5 de la Directiva Marco del Agua, en su >>>

trasposición a la legislación española, establece la necesidad de estimar la demanda de agua por la agricultura de regadío. Ello requiere la determinación de las superficies regadas y del agua aplicada a cada superficie.

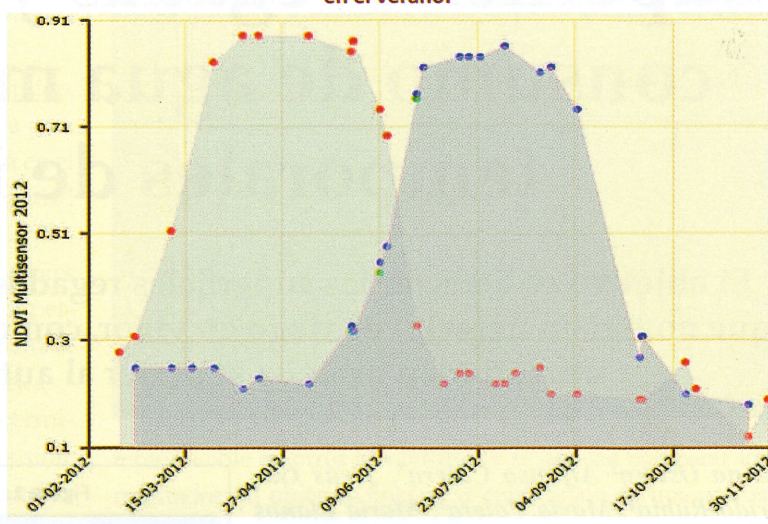
La determinación mediante trabajo de campo de los cultivos regados y de su seguimiento en cada campaña agrícola para verificar el Plan de Explotación Anual, adolece de importantes lagunas por los importantes recursos humanos que requiere, de los que en muchos casos no se dispone, y por la dificultad de seguir de forma ágil los importantes cambios que ocurren en los cultivos regados y sus superficies.

El sistema tradicional para medir y controlar el agua utilizada es colocar medidores de flujo en cada punto origen de agua. Esta medición clásica y directa ha sido ampliamente utilizada cuando la distribución se realiza desde embalses a través de una red de canales. El mismo sistema, basado en contadores a la salida de los pozos, trata de medir el agua utilizada en la agricultura con origen en las aguas subterráneas. Sin embargo, su implementación en gran escala exhibe un éxito bastante reducido. Ello se debe a la necesidad de la instalación de estos dispositivos en miles de pozos, a su mantenimiento y a su seguimiento durante años, lo que es muy costoso y, en determinados casos, considerado como inviable (1).

El programa Copernicus de Observación de la Tierra de la Unión Europea <https://www.copernicus.eu>, ha puesto en órbita recientemente la constelación de satélites Sentinel 2, con el objetivo, entre otros, de su uso como herramienta en el seguimiento de la demanda de agua en la agricultura. Avances en la ciencia y la técnica en la explotación de las series temporales de imágenes muestran resultados esperanzadores, que pueden ayudar a hacer más ágil y rápido el inventario de superficies regadas, el seguimiento de los cultivos que en ellas aparecen y la cuantificación de su consumo de agua.

Iniciativas llevadas a cabo en España por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, MAPA, como el proyecto SPIDER-SIAR, junto a otras experiencias desarrolladas por las diferentes Confederaciones Hidrográficas, empiezan a proporcionar un sustrato de conocimiento y resultados en nuestro entorno que permiten evaluar la capacidad operativa actual de las técnicas de Observación de la Tierra para la identificación de su-

**Figura 2. Patrón temporal descrito por la serie temporal de valores del Índice de Vegetación NDVI, de un típico cultivo de Trigo y de un cultivo de Maíz, ambos en regadío. Cada punto de la gráfica se obtiene de una imagen. Como se muestra, el desarrollo del Trigo se produce durante la primavera, y el Maíz en el verano.**



perficie regadas y sus consumos, como herramienta de gestión en el seguimiento de los Planes de Explotación Anuales y como herramienta a utilizar en la revisión de los Planes Hidrológicos.

El proyecto DIANA tiene como objetivo avanzar en la detección de superficies regadas no autorizadas mediante técnicas de Observación de la Tierra. Estas superficies regadas no autorizadas se agrupan en dos clases. Llamaremos superficies regadas no autorizadas clase 1 a aquellas superficies regadas que no tienen derecho de riego, esto es una concesión administrativa en vigor para regar; superficies regadas no autorizadas clase 2 serán aquellas superficies regadas en las que, aun teniendo derecho de riego, el volumen de uso del agua que se hace en ellas es superior al autorizado en la concesión.

Para realizar esta detección se procede a la identificación y mapeo de todas las superficies regadas, y de los consumos de agua que en ellas se producen, mediante técnicas de Observación de la Tierra. La superposición del mapa de superficies regadas con el mapa de zonas con derecho de riego permitirá la detección de superficies no autorizadas clase 1. La superposición del mapa de consumos de agua con los volúmenes autorizados en la concesión permitirá detectar aquellas superficies regadas no autorizadas clase 2.

Adicionalmente a estos productos, la serie de imágenes que describen el crecimiento de los cultivos son en sí mismas herramientas valiosas para seguir el cumplimiento del Plan de Explotación Anual, así como un

instrumento del Jurado de Riegos en manos de los propios agricultores y autoridades, realizando una eficaz contribución a la gestión del agua.

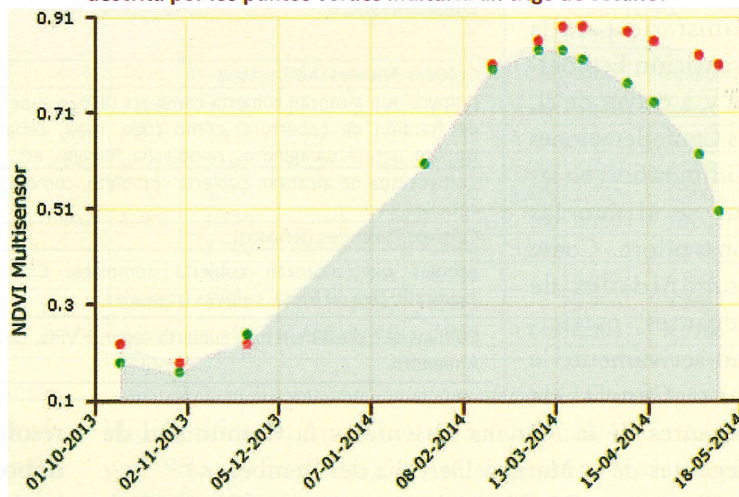
En este trabajo se muestran los avances logrados en DIANA para la identificación de superficies regadas y su consumo de agua, así como el análisis de la contribución de las series de imágenes a la gestión del agua.

### EL PROYECTO DIANA, EL CONSORCIO Y ZONAS PILOTO

El proyecto DIANA, <https://diana-h2020.eu/es/> "Detection and Integrated Assessment of Non-authorized water Abstractions using EO" está formado por un consorcio internacional multidisciplinar que agrupa 9 grupos de 6 países, para facilitar la detección e inspección de superficies regadas no autorizadas mediante técnicas de Observación de la Tierra, así como el desarrollo de una plataforma web para poner esta información en manos de administraciones y gestores del agua. En el caso de España los socios del proyecto son AgriSat, [www.agrisat.es](http://www.agrisat.es), y la Federación de Regantes y Usuarios FERAGUA <https://feragua.com/>, y asociados a ellos la Universidad de Castilla La Mancha, UCLM, y el Consejo Superior de Investigaciones Científica, CSIC.

DIANA se desarrolla en varias zonas piloto situadas en España, Italia y Rumanía. En el caso de España las

Figura 3. Diferencias en los patrones temporales del NDVI para el trigo con diferentes niveles de riego, que se manifiestan a partir de marzo. La curva descrita por los puntos verdes indicaría un trigo de secano.



zonas piloto se muestran en la Figura 1, y son (1) la zona regable del Canal de la Margen Derecha del Bembézar, en la cuenca del río Guadalquivir; (2) la zona regable Mancha Oriental situado en la cuenca del río Júcar, (3) la zona regable Tierra del Vino, en la cuenca hidrográfica del Duero, y (4) la zona regable Bajo Jalón, en la cuenca hidrográfica del Ebro. Los usuarios objeto de los productos en DIANA son las autoridades del agua y usuarios asociados en Comunidades de Regante, y que comparten la gestión del agua con las autoridades. En España, se ha involucrado muy activamente en el ▶▶▶

## Bombas Dosificadoras Fertirrigación

**ITC REFERENTE MUNDIAL EN FERTIRRIGACIÓN**

Uso eficiente del agua y fertilizantes  
en instalaciones agrícolas.

MOD. ECOFERTIC

MOD. FERTIC

MOD. EFR

MOD. DOSTEC

**ITC**  
DOSING PUMPS

Vallès, 26 Pol. Ind. Can Bernades-Subirà 08130  
Sta. Perpètua de Mogoda - Barcelona  
Tel. +34 935 443 040 — Email [itc@itc.es](mailto:itc@itc.es)  
INJECTION TECHNICAL CONTROL Inc. FRESNO - CALIFORNIA - USA

**itc.es**

ELECTRIC

MAGNETIC

CONTROLLER

DOSING

MIXER

instrumento del Jurado de Riegos en manos de los propios agricultores y autoridades, realizando una eficaz contribución a la gestión del agua.

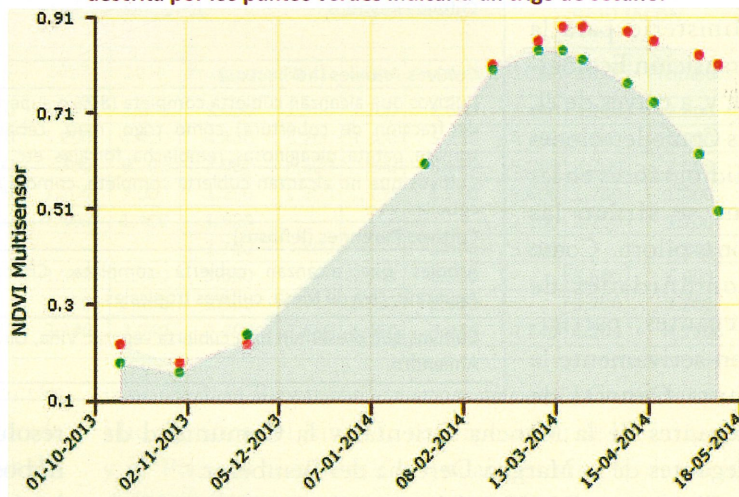
En este trabajo se muestran los avances logrados en DIANA para la identificación de superficies regadas y su consumo de agua, así como el análisis de la contribución de las series de imágenes a la gestión del agua.

### EL PROYECTO DIANA, EL CONSORCIO Y ZONAS PILOTO

El proyecto DIANA, <https://diana-h2020.eu/es/> "Detection and Integrated Assessment of Non-authorised water Abstractions using EO" está formado por un consorcio internacional multidisciplinar que agrupa 9 grupos de 6 países, para facilitar la detección e inspección de superficies regadas no autorizadas mediante técnicas de Observación de la Tierra, así como el desarrollo de una plataforma web para poner esta información en manos de administraciones y gestores del agua. En el caso de España los socios del proyecto son AgriSat, [www.agrisat.es](http://www.agrisat.es), y la Federación de Regantes y Usuarios FERAGUA <https://feragua.com/>, y asociados a ellos la Universidad de Castilla La Mancha, UCLM, y el Consejo Superior de Investigaciones Científica, CSIC.

DIANA se desarrolla en varias zonas piloto situadas en España, Italia y Rumanía. En el caso de España las

Figura 3. Diferencias en los patrones temporales del NDVI para el trigo con diferentes niveles de riego, que se manifiestan a partir de marzo. La curva descrita por los puntos verdes indicaría un trigo de secano.



zonas piloto se muestran en la Figura 1, y son (1) la zona regable del Canal de la Margen Derecha del Bembézar, en la cuenca del río Guadalquivir; (2) la zona regable Mancha Oriental situado en la cuenca del río Júcar, (3) la zona regable Tierra del Vino, en la cuenca hidrográfica del Duero, y (4) la zona regable Bajo Jalón, en la cuenca hidrográfica del Ebro. Los usuarios objeto de los productos en DIANA son las autoridades del agua y usuarios asociados en Comunidades de Regante, y que comparten la gestión del agua con las autoridades. En España, se ha involucrado muy activamente en el ▶▶▶

## Bombas Dosificadoras Fertirrigación

ITC REFERENTE MUNDIAL EN FERTIRRIGACIÓN

Uso eficiente del agua y fertilizantes  
en instalaciones agrícolas.

MOD. ECOFERTIC

MOD. FERTIC

MOD. EFR

MOD. DOSTEC

**ITC**  
DOSING PUMPS

Vallès, 26 Pol. Ind. Can Bernades-Subirà 08130  
 Sta. Perpètua de Mogoda - Barcelona  
 Tel. +34 935 443 040 — Email [itc@itc.es](mailto:itc@itc.es)  
 INJECTION TECHNICAL CONTROL Inc. FRESNO - CALIFORNIA - USA

itc.es

ELECTRIC

MAGNETIC

CONTROLLER

DOSING

MIXER

proyecto DIANA la Subdirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica, y, a través de él, las Confederaciones Hidrográficas en las que se sitúan las zonas piloto. Como Comunidades de Regantes, participan activamente la Junta Central de

Regantes de la Mancha Oriental y la Comunidad de Regantes de la Margen Derecha del Bembézar.

El proyecto DIANA elabora productos como el Mapa de Superficies Regadas y el Mapa de las Necesidades Netas de Agua de Riego, y los ofrece a través de la plataforma web, a las escalas espaciales y temporales útiles para el soporte y ayuda en las tareas rutinarias para la gestión del agua de los usuarios. Toda esta información permite el contraste con los derechos, concesiones y dotaciones de riego que cada administración o autoridad posee, permitiendo así identificar aquellas superficies regadas no autorizadas Clase 1 y Clase 2.

### IDENTIFICACIÓN DE SUPERFICIES REGADAS MEDIANTE TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

Obtener el mapa de la superficie regada es probablemente la aplicación más clásica de las imágenes de Observación de la Tierra en la gestión del agua. La secuencia temporal de imágenes de satélite permite obtener un mapa temático digital que describe la distribución espacial de los diferentes cultivos o agrupaciones de estos en varias clases, que se encuentran en un área determinada. En el caso que nos ocupa, la atención se centra en la distribución espacial de los cultivos de regadío.

En la actualidad, las imágenes adquiridas por los satélites Sentinel2a y Sentinel2b describen la evolución temporal de la cubierta vegetal de cada cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento, con una resolución espacial de hasta 0,01 ha, correspondiente a un tamaño del pixel, la unidad mínima de información, de 10 m del lado del pixel, y una frecuencia de revisita de cada 5 días, lo que proporciona una resolución espacial y temporal sin precedentes hasta hace tan sólo dos años. La alta

**Tabla 1. Precisión en la identificación de superficies regadas mediante series temporales de imágenes**

| Cultivos Regados                                                                                                                                                  | Precisión dependiendo del clima |                  | Información adicional para incrementar la precisión                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                   | Semiárido/árido                 | Subhúmedo/húmedo |                                                                                            |
| Cultivos Anuales (herbaceos)                                                                                                                                      |                                 |                  |                                                                                            |
| Cultivos que alcanzan cubierta completa (80% o superior de fracción de cobertura) como trigo, maíz, cebada, tomate, patata, oleaginosas, remolacha, forrajes, etc | Muy Buena                       | Buena            | Análisis multianual<br>Canal Térmico<br>Imagen Radar<br>Cartografía Adicional              |
| Cultivos que no alcanzan cubierta complete, como ajos, cebollas, etc.                                                                                             | Buena                           | Baja             |                                                                                            |
| Cultivos Perennes (leñosos)                                                                                                                                       |                                 |                  |                                                                                            |
| Árboles que alcanzan cubierta completa: Cítricos, Aguacate, Uva de Mesa, cultivos tropicales.                                                                     | Buena                           | Baja             | Análisis Multianual<br>Canal Térmico<br>Imagen Radar<br>Ortofotos<br>Cartografía adicional |
| Cultivos que presentan baja cubierta vegetal: Viña, Olivo, Almendro.                                                                                              | Baja                            | Muy Baja         |                                                                                            |

resolución temporal permite reducir el impacto de la nubosidad al asegurar la disponibilidad de imágenes, y la alta resolución temporal posibilita mapear hasta un tamaño de aproximadamente 0,1 ha (3x3 pixel), lo que abarca todos los tipos de agricultura y cubre el rango de tamaño de las parcelas

El conocimiento agronómico de cómo evoluciona en el tiempo la cubierta vegetal de cada cultivo permite identificar un determinado cultivo mediante el patrón temporal descrito por la serie temporal de imágenes de satélite, como se muestra en las Figura 2 y 3. Para esta descripción es usual utilizar magnitudes como las denominadas Índice de Vegetación; de entre ellos el más utilizado es el llamado NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, en sus siglas en Inglés), que se deriva de las imágenes mediante una combinación algebraica de las reflectancias espectrales. Este parámetro NDVI mide la actividad fotosintética de la cubierta vegetal, directamente relacionada con la fracción de cobertura vegetal verde, esto es la fracción del área sombreada por la cubierta vegetal.

El proceso de clasificación basado en el reconocimiento de patrones temporales explota en un primer lugar las diferencias entre los patrones temporales para asignar cada patrón temporal a un cultivo o a una clase; por ejemplo la clase Regadío de Primavera utilizada en este trabajo hace referencia a todos los cultivos regados cuyo desarrollo ocurre durante este período, como es el caso del trigo, y agruparía a otros como cebadas, guisantes. De la misma forma podríamos asignar a la clase Regadío de Verano a todos los cultivos regados que como el maíz ocurren durante el verano. Estas clases deben definirse desde el conocimiento sobre la fenología de los cultivos presentes en un área determinada.

La separación entre superficies regadas y aquellas que no lo son se basa en la explotación de las diferencias de la cubierta vegetal atribuibles al aporte de agua de riego, de aquellas otras cubiertas que no reciben el agua de riego. Estas diferencias atañen fundamentalmente a un mayor de-

desarrollo de la vegetación regada, y una mayor duración del ciclo de crecimiento, y pueden ser capturadas desde las imágenes de satélite. La Figura 3 muestra dichas diferencias para el caso del trigo, en este caso claramente en la parte final del ciclo de crecimiento. La magnitud de dichas diferencias establece la separabilidad entre las clases y marca en muchos casos los límites para la identificación de superficies regadas, y su separación de los que no lo son.

En la Tabla 1 se ha tratado de condensar los grados de dificultad atendiendo al cultivo y clima en el que este se desarrolla. En dicha Tabla 1 se puede observar que la mayor dificultad en la separabilidad se da en los cultivos perennes mediterráneos como la viña, el olivo y el almendro, en los que usualmente la fracción de cobertura vegetal es muy baja; en estos casos la variabilidad debida al suelo, la meteorología, la variedad, y el diferente manejo, oscurece la variabilidad debida al aporte de agua de riego, especialmente en el caso de regadío de apoyo, en los que los aportes son reducidos, comparados con la variabilidad interanual en la precipitación.

Adicionalmente al mapa de clasificación, la disponibilidad de la serie temporal de imágenes de satélite aporta valor añadido en sí misma. En el caso de la Mancha Oriental se ha implementado con éxito la Inspección de Campo Asistida por Satélite, mediante la cual las imágenes obtenidas en tiempo real, tanto en la forma de combinaciones color RGB como en la forma del NDVI, se utilizan para dirigir la inspección hacia las áreas que muestran anomalías con el Plan de Explotación Anual. Dicho Plan de Explotación Anual es el mapa de cultivos y su superficie, obtenido de la declaración obligatoria que realizan los usuarios cada año, previa a la campaña, sobre los cultivos y las parcelas en las que estos se van a cultivar, y que obra en poder y es autorizado por la Co-

**Tabla 2. Necesidades netas de riego promedio (m3/ha/año) por grupos de cultivo en tres zonas piloto del proyecto DIANA.**

| GRUPOS DE USOS DEL SUELO EN REGADÍO | MANCHA ORIENTAL |              |              |              | TIERRA DEL VINO |              |              | BAJO JALÓN   |              |              |
|-------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                     | 2016            | 2017         | 2018         | Promedio     | 2016            | 2017         | Promedio     | 2016         | 2017         | Promedio     |
| <i>Primavera</i>                    | 3.200           | 3.400        | 2.600        | <b>3.050</b> | 2.200           | 3.200        | <b>2.600</b> | 2.400        | 3.200        | <b>2.800</b> |
| <i>Verano</i>                       | 5.000           | 5.200        | 4.400        | <b>4.860</b> | 5.200           | 5.300        | <b>5.250</b> | 4.900        | 4.900        | <b>4.900</b> |
| <i>Primavera - Verano</i>           | 7.200           | 7.700        | 6.200        | <b>7.030</b> | 6.300           | 7.100        | <b>6.680</b> | 6.900        | 7.200        | <b>7.040</b> |
| <i>Viña</i>                         | 1.400           | 1.200        | 1.000        | <b>1.230</b> | 1.200           | 1.300        | <b>1.250</b> | 1.600        | 1.200        | <b>1.400</b> |
| <i>Olivar</i>                       | 2.000           | 1.600        | 1.400        | <b>1.620</b> |                 |              |              | 2.200        | 2.200        | <b>2.200</b> |
| <i>Frutal</i>                       | 2.700           |              |              | <b>2.700</b> | 3.800           |              | <b>3.800</b> | 5.800        |              | <b>5.800</b> |
| <i>Frutal hueso</i>                 |                 | 3.900        | 3.400        | <b>3.650</b> |                 | 5.500        | <b>5.500</b> |              | 6.600        | <b>6.600</b> |
| <i>Frutal cáscara</i>               |                 | 2.200        | 2.400        | <b>2.300</b> |                 | 2.500        | <b>2.500</b> |              | 3.200        | <b>3.200</b> |
| <b>PROMEDIO</b>                     | <b>3.430</b>    | <b>3.740</b> | <b>3.040</b> | <b>3.400</b> | <b>3.580</b>    | <b>4.360</b> | <b>3.930</b> | <b>4.140</b> | <b>4.200</b> | <b>4.170</b> |

munidad de Regantes, de acuerdo con la Confederación Hidrográfica del Júcar. La superposición de las imágenes y el Plan de Explotación Anual permite la detección de anomalías que guían la inspección; de esta forma se incrementa sustancialmente la eficiencia del trabajo de los recursos humanos para la inspección en campo.

Adicionalmente, la serie de imágenes proporciona evidencias para el “Jurado de Riegos”, implementado también en la Mancha Oriental. Este “Jurado de Riego” es una primera instancia que trata de resolver principalmente casos en que se ha superado el consumo de agua autorizado, con un mínimo de procedimiento administrativo, y con el acuerdo de las partes. Para ello utiliza una herramienta webGIS SPIDER\_ERMOT, la cual permite el acceso en línea a la serie temporal de imágenes de la determinada parcela o explotación. La Figura 4 muestra un caso real en el que en una parcela se produjeron varios ciclos de crecimiento correspondiente a la implantación sucesiva del cultivo, mientras que solo se disponía de permiso para un solo ciclo. En muchos casos la evidencia es clara y facilita la solución del conflicto.

### ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA MEDIANTE TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

La detección directa de extracciones de agua no autorizadas del segundo tipo requiere medir la cuantía de agua mediante contadores. Las técnicas de Observación de la Tierra proporcionan una estimación indirecta de esta cuantía determinando el consumo de agua de los cultivos a lo largo del tiempo durante la temporada de crecimiento, y posteriormente las necesidades de agua de riego, mediante la realización de un balance de agua en el suelo explorado por las raíces. Este balance ►►►

de agua en suelo requiere como principales datos de entrada el conocimiento de la precipitación y de las propiedades del suelo.

El consumo de agua por el cultivo se identifica con la evapotranspiración, que describe el intercambio de vapor de agua entre la cubierta y la atmósfera. Este intercambio incluye la transpiración, el flujo de agua a través de la vegetación, y la evaporación desde el suelo. El procedimiento completo, esto es la determinación de la evapotranspiración y balance de agua en suelo para el cálculo de las necesidades de agua de riego se describe en gran detalle en el manual FAO56 (3). Es un procedimiento robusto, ampliamente usado en todo el mundo, que descansa sobre resultados obtenidos a lo largo de décadas de experimentación.

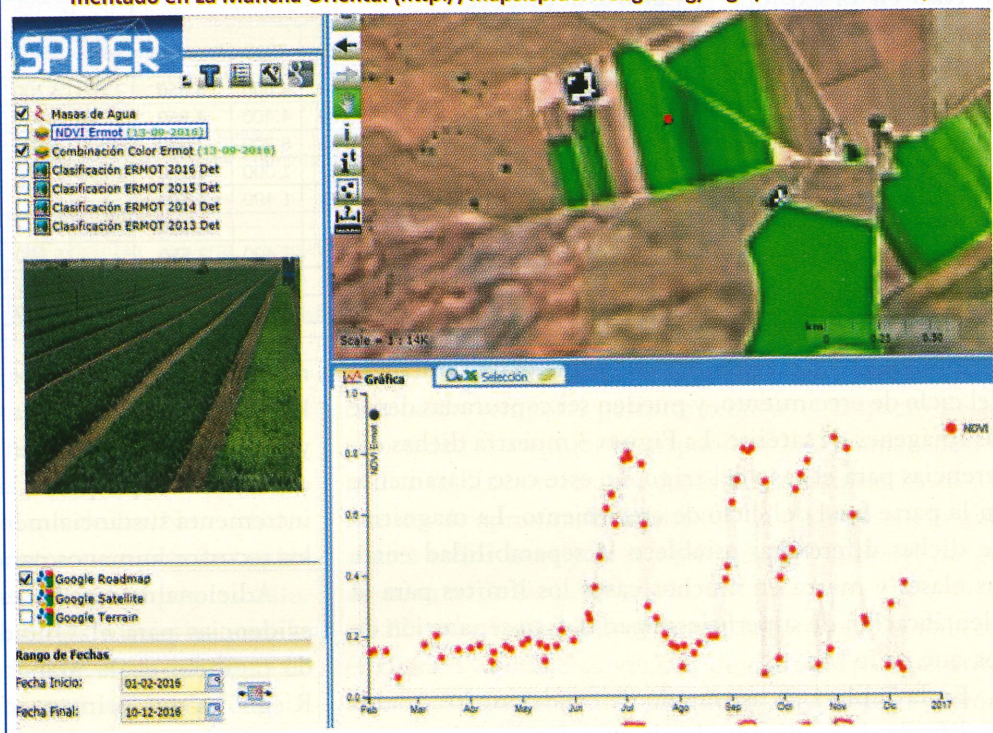
El procedimiento utilizado en DIANA integra las series temporales de imágenes en el procedimiento descrito en FAO56, y consta de los siguientes pasos:

► Las series temporales de mapas NDVI se pueden convertir en mapas de coeficiente de cultivo basal, que es el input básico en el modelo FAO56 coeficiente dual, para el cálculo de evapotranspiración de cultivos (4). La interpolación entre imágenes consecutivas es factible gracias a la alta frecuencia de revisita, que reduce el impacto de la nubosidad, lo que permite obtener valores diarios; luego el producto del coeficiente de cultivo basal y la evapotranspiración de referencia diaria proporciona los requisitos de agua del cultivo. La evapotranspiración de referencia,  $E_{To}$ , se obtiene desde datos meteorológicos como la radiación solar, temperatura, velocidad de viento y humedad relativa. Estos parámetros se han obtenido desde estaciones de la red SIAR

[www.siar.es/](http://www.siar.es/)

► La determinación remota de la evapotranspiración de la cubierta vegetal también se puede calcular a partir de imágenes de temperatura utilizando técnicas como

**Figura 4. La serie temporal visualizada mediante la herramienta webGIS SPIDER\_ERMOT aporta evidencia de la existencia de varios ciclos de crecimiento en una parcela, mientras que solo se disponía de autorización para un solo ciclo. Esta herramienta se usa en el Jurado de Riegos implementado en La Mancha Oriental (<http://maps.spiderwebgis.org/login/?custom=ermot>)**



las basadas en el balance de energía de la superficie. Dado que solo el sensor Landsat8 proporciona de forma operativa la temperatura de la superficie, con un tiempo de revisita de 16 días, y debido a que la resolución espacial del canal térmico es de 100 m de tamaño de píxel, este procedimiento es complementario al descrito anteriormente, proporcionando un control de calidad independiente.

► El balance hídrico del suelo, aplicado siguiendo el modelo FAO56, permite calcular las necesidades netas de agua de riego pixel a pixel. Se requieren como datos de entrada adicionales la precipitación y propiedades del suelo. De acuerdo con los procedimientos descritos en FAO56, además es posible calcular las necesidades netas de agua para riego bajo estrés hídrico, como se usa en el riego con déficit controlado o en el riego complementario. En este caso se requiere el conocimiento del grado de estrés hídrico deseado, que depende del cultivo y de la fenología.

► Finalmente, la estimación del suministro de agua para el riego, lo que se denomina Necesidades de Agua Brutas, requiere el conocimiento adicional de la eficiencia tanto del sistema de riego como de la distribución en canales, tuberías, etc.

Para el proceso de computación en las zonas piloto se ha utilizado el software HidroMORE® (5), que realiza el balance de agua en suelo asistido por satélite en grandes áreas. Como salida del modelo se obtienen las diferentes componentes de dicho balance de agua, a escala temporal diaria y a la resolución espacial del tamaño de pixel, en este caso 0,01 ha. Para facilitar el uso de la ingente información generada se agregan los resultados de acuerdo a las necesidades de los usuarios. Así se agregan las necesidades netas de agua de riego desde la escala diaria, a las escalas mensual y anual. Asimismo, se agregan espacialmente los resultados desde la escala de pixel a las escalas de parcela, explotación agrícola y zona regable.

La Tabla 2 muestra los resultados de las necesidades netas de agua a la escala de zona regable y agrupadas por grandes grupos de cultivos. La designación de los cultivos herbáceos que se utiliza en esta Tabla 2, indica la época principal en la que se produce el desarrollo de los cultivos que integran cada clase. Así, la Clase Primavera-Verano, integraría cultivos cuyo desarrollo se produce tanto en Primavera como en Verano, como es el caso de la alfalfa, o aquellos manejos conocidos como dobles cosecha, en que aparecen varios ciclos de crecimiento.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los Mapas de Superficies Regadas, y los Mapas de Necesidades de Agua de Riego, elaborados mediante técnicas de Observación de la Tierra en las zonas piloto, han sido suministradas a los usuarios, autoridades del agua y comunidades de regantes, en las escalas temporales y espaciales acordes a sus requisitos de usuario para su evaluación. La comparación de los resultados con otros procedimientos de medida directa está en desarrollo, para estimar el potencial de los resultados con los requisitos establecidos por la Directiva Marco del Agua para el seguimiento de los consumos de agua por la agricultura de regadío.

La determinación de Necesidades Netas de Agua de Riego mediante Teledetección, descrita anteriormente, es una estimación indirecta, que estima la cuantía de agua a aplicar bajo unas condiciones de manejo que se consideran óptimas. Es por tanto una aproximación a la cuantía del agua realmente aplicada en tanto en cuanto se asuma que la decisión individual del agua a aplicar sigue los patrones agronómicos para conseguir el mayor beneficio utilizando el agua de forma adecuada a las necesidades de los cultivos. Sin embargo, las decisiones

individuales pueden estar influidas por otras variables, como disponibilidad del agua, oportunidad y coste en su uso, experiencia propia e incluso apreciaciones personales, lo que introduce un relevante margen de incertidumbre entre el valor estimado y el valor real de agua aplicada. Nuestros resultados preliminares indican que estimaciones multianuales pueden proporcionar valores robustos para acercarnos a las dosis promedio que cada cultivo requiere.

Un trabajo recientemente publicado (5) evalúa las decisiones individuales de riego –agua aplicada– frente a necesidades de agua de riego estimadas utilizando un modelo muy similar al aquí aplicado, para 1400 parcelas sobre un período de 13 años en Nebraska (USA); en sus conclusiones señala la fiabilidad del modelo en datos agregados en grandes áreas, resaltando la variabilidad en el agua aplicada frente a las necesidades de agua modeladas, como consecuencia del comportamiento individual de riego de los agricultores. Factores ambientales, como si el año es húmedo o seco se superponen a diferencias asociadas a distintos tipos de suelos y otras asociadas al propio comportamiento de grupos de agricultores.

La utilización del modelo expuesto en este trabajo para aproximarse al agua aplicada requerirá estudios que recojan información detallada sobre el comportamiento individual y sus patrones. Sistemas de contadores seleccionados, operados y mantenidos adecuadamente, junto con la aplicación de modelos como los descritos en este trabajo, pueden aportar en el futuro el conocimiento y experiencia necesarios para poder operar sistemas híbridos teledetección-contadores para la gestión y contabilidad del agua.

## REFERENCIAS

- 1- Díaz-Mora, J., Experiencia de la instalación de contadores en los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana. *Medida y Evaluación de las Extracciones de Agua Subterránea. Síntesis y Conclusiones*, ed. A. Ballester, J. A. Fernández & J. A. López Geta, Madrid, pp. 141-160, 1999.
- 2- Allen, R. G. Raes, D. & Smith, M., *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements*. Irrigation and Drainage Paper. No. 56, FAO, Rome, Italy, 1998
- 3- Calera, A; Campos, I; Osann, A.; D'Urso, G; Menenti, M. 2017. Remote sensing for crop water management: from ET modelling to services for the end users *Sensors* **2017**, 17(5), 1104; <https://doi.org/10.3390/s17051104>
- 4- Torres, E. A. Calera, A. Gonzalez-Piqueras, J. Rubio, E. Campos, I. & Balbontin, C., Coupling remote sensing and FAO-56 for a distributed water budget model in large areas: HidroMORE, *Remote Sensing and Hydrology*, 352, pp. 401-405, 2012.
- 5- T Foster, I Z Gonçalves, I Campos, C M U Neale and N Brozović, 2019. Assessing landscape scale heterogeneity in irrigation water use with remote sensing and in situ monitoring. *Environ. Res. Lett.* **14** 024004 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf2be>