



B-14

## USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS ECOLÓGICOS

*Flores Cayuela, C. (1) (P), Camacho Poyato, E. (2), Montesinos Barrios, P (3).*

<sup>1</sup> Investigadora asociado a proyecto, Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edif. Leonardo da Vinci, 14071. Córdoba. [g02flcac@uco.es](mailto:g02flcac@uco.es)

<sup>2</sup> Catedrático. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edif. Leonardo da Vinci, 14071. Córdoba. [ecamacho@uco.es](mailto:ecamacho@uco.es)

<sup>3</sup> Catedrática. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, Edif. Leonardo da Vinci, 14071. Córdoba. [pmontesinos@uco.es](mailto:pmontesinos@uco.es)

### Resumen

Debido al exponencial crecimiento de la población mundial, la agricultura tendrá que asumir el reto de incrementar un 50% la producción de alimentos para el año 2050. En Andalucía, donde se prevé un escenario climático especialmente desfavorable, será imprescindible una buena gestión de los recursos, más aún en el sector de la producción ecológica donde tanto productores como consumidores están especialmente concienciados con el uso sostenible de los recursos empleados en el proceso de producción, siendo el uso del agua uno de los que más preocupa. De ahí la necesidad de implantar sistemas de riego de precisión que permitan un uso sostenible del agua y su posterior valoración mediante la Huella del agua, indicador estandarizado que permite además evaluar su trazabilidad. Para ello se han implantado ensayos en 4 cultivos ecológicos distintos donde se han instalado diferentes sensores para la monitorización del uso del agua que, junto con los datos de las estaciones agroclimáticas más cercanas, características hidráulicas de la red de riego, tipo de suelo y características de la plantación, permiten determinar las necesidades hídricas del cultivo y realizar una recomendación de riego diaria. Para facilitar la implantación del riego de precisión y asegurar la transferencia de esta tecnología, se creará una plataforma web y una aplicación móvil donde el agricultor tendrá acceso a la información registrada en campo y a la huella del agua de su producto calculada según la norma ISO14046.

### 1- Introducción

El agua es uno de los recursos más escasos a la vez que imprescindible para la vida y según las previsiones de la Organización Mundial de la Salud se estima que debido al exponencial crecimiento de la población mundial, para 2050 se superen los 10.000 millones de personas, por lo que la agricultura, principal usuario de los recursos hídricos mundiales (70%), deberá afrontar el desafío de incrementar un 50% la producción de alimentos para abastecer a esa población (FAO, FIDA, OMS, 2017).

Las posibles consecuencias del cambio climático sobre la disponibilidad de los recursos en algunas zonas se recogen en trabajos como Mérida García y col. (2018). Así, en zonas del sur de Europa como Andalucía, se prevé un escenario especialmente desfavorable por su ubicación en la cuenca Mediterránea, con una reducción entre el 15 y 20% de la precipitación para el año 2050, así como un aumento de su torrencialidad, incremento del 20% de la demanda anual de agua de riego, mayor duración de la campaña de riego y un aumento de la demanda punta en los meses de verano del 10% (Rodríguez

Díaz y col, 2007). Será por tanto imprescindible una buena gestión de los recursos, y para ello será necesario el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's), que son fundamentales para poder implementar riegos de precisión, que permitan realizar una programación óptima de los riegos, aplicando al cultivo la cantidad de agua que realmente necesita en el momento oportuno, teniendo en cuenta todas las particularidades de su producción en cada finca (suelo, plantación, características de la red de riego, climatología).

El sector de la producción ecológica es un sector especialmente concienciado con la sostenibilidad como principio para la producción de alimentos mediante técnicas respetuosas con el medio ambiente. No son solo los agricultores y elaboradores los que valoran la sostenibilidad porque puedan ver limitada su capacidad de producción y elaboración por falta de recursos hídricos, sino que son los consumidores de productos ecológicos los que valoran especialmente que los procesos empleados para obtener productos alimentarios sean sostenibles, siendo el agua uno de los factores que más preocupa.

El sector ecológico es consciente de la creciente demanda de información medioambiental sobre los productos agroalimentarios y del esfuerzo que los productores ecológicos hacen por mejorar la sostenibilidad hídrica de sus explotaciones, sin que por ello tengan ningún reconocimiento ni diferenciación. De ahí la necesidad de dotar al sector de una herramienta para maximizar la eficiencia del uso del agua en los cultivos ecológicos y que, combinada con el indicador estandarizado del uso del agua, Huella del Agua, calculada según la norma ISO 14046, permita transmitir de forma transparente y eficaz la trazabilidad del uso del agua en explotaciones agrícolas ecológicas, dotando así a los agricultores de la diferenciación que necesitan en el mercado y fomentando el uso sostenible del agua.

Para abordar este problema se ha creado un grupo operativo para desarrollar el proyecto "Huella del Agua en el Sector Ecológico Andaluz", cofinanciado por la Junta de Andalucía y la Unión Europea a través de los fondos FEADER, que lidera la Asociación de Valor Ecológico Ecovalia (en representación del sector ecológico andaluz) y en el que participan la Universidad de Córdoba, el Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (CeIA3) y la empresa CO2 Consulting. Es en el ámbito de este proyecto en el que se realiza el presente trabajo.

## 2- Objetivos

Implantar un sistema de riego de precisión en 4 cultivos ecológicos en las campañas de riego 2018-19 y 2019-20 y desarrollar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la gestión del riego, que además sirva para el cálculo de la Huella del Agua según la norma ISO 14046 y facilite su incorporación como indicador del uso de agua en la trazabilidad de los productos ecológicos.

## 3- Materiales y Métodos

### 3.1. Caso de estudio

Se han instalado parcelas piloto en cuatro cultivos ecológicos en diferentes zonas de Andalucía; naranja en Córdoba, fresa en Huelva, tomate en Almería y olivar en Jaén. En cada una de las parcelas se han instalado diferentes sensores para la monitorización del uso del agua: sondas de humedad en el suelo y contadores, elementos básicos para la implantación de un sistema de riego de precisión. El análisis de esta información combinada con los registros meteorológicos de estaciones agroclimáticas cercanas, predicciones meteorológicas, características de la plantación y del suelo junto con las características

hidráulicas de la red de riego y la dotación de agua, son la base para realizar una programación diaria del tiempo de riego necesario, de modo que se aplique el volumen de agua óptimo en el momento preciso.

### 3.2. Diseño de la plataforma web

Para facilitar la implantación del sistema de riego de precisión en las fincas participantes, se está desarrollando una plataforma web que determina el tiempo de riego óptimo para cada día y la huella del agua asociada a la producción. La plataforma web contará con una pestaña de entrada de datos en la que el agricultor introducirá los datos necesarios para determinar el tiempo de riego para aplicar el volumen de agua requerido cada día. Dentro de estos datos se incluye información referente a la localización, plantación (marco, fechas clave del desarrollo del cultivo, producción), al sistema de riego (superficie del sector de riego (ha), caudal de los emisores (l/h) y separación entre emisores (m)), así como de las características del suelo (textura, horizontes). Una vez especificada la ubicación de la finca, la plataforma conectará con la estación agroclimática más cercana para hacer uso de los datos climáticos registrados por la misma: evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) y precipitación. Se construirá una base de datos histórica, interna en la plataforma, de  $ET_0$  para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  (necesidades hídricas del cultivo) para su uso en las predicciones diarias de necesidades del cultivo. Los datos de precipitación servirán, además, en el caso de los cultivos al aire libre para actualizar diariamente el balance de agua en el suelo, información necesaria para determinar cuándo y cuánto regar, para ello la plataforma enlazará mediante una 'Application Programming Interface' (API) con el servidor de la web [www.eltiempo.es](http://www.eltiempo.es), de modo que se pueda incorporar la predicción de precipitación como una variable más en la determinación de la programación del riego.

La plataforma web establecerá un enlace con el servidor web al que las sondas de humedad y contadores instalados en campo envían la información en tiempo real, de esta forma los datos reales de humedad en suelo y volumen de agua aplicados en cada riego servirán para realizar el control del riego programado y en el caso del contador, actualizar diariamente con datos reales el balance de agua en el suelo y así realizar una programación óptima del tiempo de riego necesario. A partir de esta información la plataforma realizará una recomendación de riego diaria para los próximos 7 días, la cual se actualizará diariamente. Dado que las recomendaciones de tiempos de riego para cada día varían en la medida que lo hagan las variables que intervienen en su determinación (precipitación, evolución de humedad en suelo, variación de riego aplicado respecto al recomendado, etc...) se enviará una alerta diaria al correo del usuario indicando, en función de la última actualización de datos, si es preciso regar o no y cuánto tiempo.

Además de realizar una programación del riego, la plataforma calculará, al final del ciclo del cultivo, su huella del agua conforme a la norma ISO 14046, utilizando para ello los datos reales de agua aplicada con los riegos (agua azul) extraídos de los datos registrados por el contador, datos de precipitación (agua verde) tomados de la estación agroclimática más cercana y la producción real registrada. La Figura 1 muestra un esquema simplificado del funcionamiento de la plataforma web.

Se desarrollará una aplicación móvil que permita a cada usuario/agricultor visualizar en su móvil toda la información de la plataforma, facilitando la lectura de tiempos de riego para introducirla en su programador de riego.

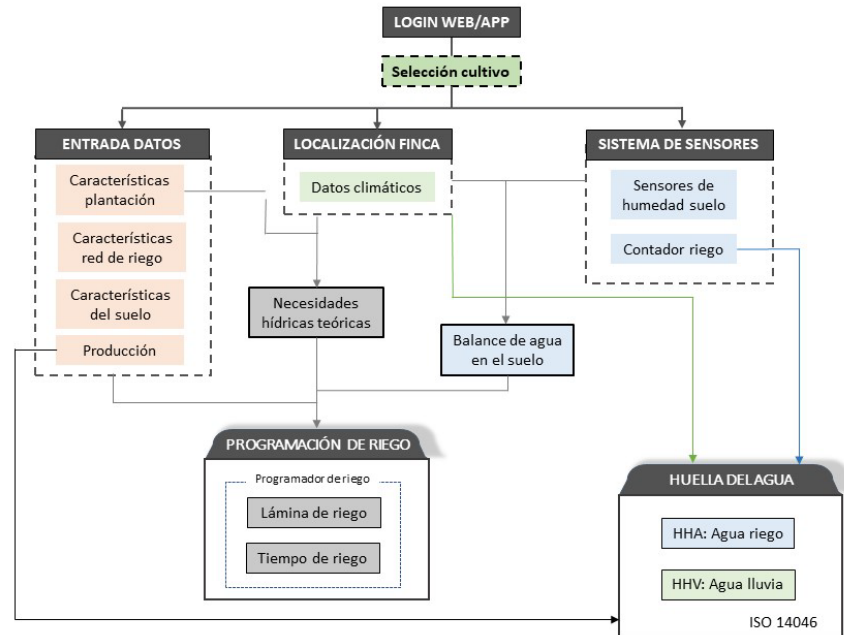


Figura 1: Diagrama de flujo de la programación del riego.

### 3.3. Determinación de las necesidades de riego

La plataforma determinará las necesidades hídricas del cultivo a partir de la información ya recopilada (datos de entrada facilitados por el usuario y datos climáticos) y mostrará en última instancia la lámina de agua a aplicar y el tiempo de riego necesario para ello. La determinación de las necesidades se hace a partir de la evapotranspiración del cultivo, obtenida mediante la ec. ( 1 ) propuesta por Doorenbos and Pruitt (1977)

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

Donde  $ET_0$  es la evapotranspiración de referencia, que cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera en una pradera de gramíneas de 8 a 10 cm de altura sin limitación de agua y sin incidencias por plagas o enfermedades. Este valor se toma de la base de datos construida en la plataforma con las medias de datos históricos almacenados por la estación agroclimática más cercana para cada día del año.

El término  $K_c$  es el coeficiente de cultivo y cuantifica el efecto propio del cultivo y su estado de desarrollo sobre la  $ET_c$ . En cítricos se ha determinado utilizando es método propuesto por Castel (2002), donde  $K_c$  se obtiene a partir de su relación con la superficie de suelo sombreada por el cultivo (PAS) mediante la ec. (2).

$$K_c = -(0,0001293 \times PAS^2) + 0,017865 \times PAS + 0,03 \quad (2)$$

El PAS está directamente relacionado con el número de plantas por ha (N) y el diámetro de copa de los árboles (D) y se determina mediante la ec. (3)

$$PAS = \frac{\pi \times D^2 \times N}{400} \quad (3)$$

En el caso del olivar para la determinación de las necesidades hídricas es necesario corregir  $K_c$  mediante el coeficiente reductor  $K_r$ . El primero expresa la relación entre la evapotranspiración de un cultivo que cubre completamente el suelo y la  $ET_0$ , que en el caso

del olivar este valor varía a lo largo del año, con valores máximos en primavera y mínimos en verano, tomándose los valores propuestos por Orgaz y Fereres (Barranco, 2017). El coeficiente  $K_r$  cuantifica el efecto del estado de desarrollo del cultivo en la  $ET_c$ , tomando valores desde 0 para olivar recién plantado hasta 1 en olivar adulto e intensivo y se determina mediante la ec. (4) propuesta por Fereres y col. (1981), donde PAS se determina con la ec. (3).

$$K_r = 2 \times \text{PAS}/100 \quad (4)$$

La fresa es un cultivo que se produce bajo túneles de plástico, que modifican la  $ET_0$  registrada al aire libre. Para su estimación se usa un modelo basado en la radiación solar en invernaderos propuesto por Fernández y col. (2010) (ec 5 y 6) y usado por otros autores para el cultivo de la fresa en Huelva (Gavilán y col., 2014)

$$\text{Si } DDA < 220 \quad ET_{0_{inv}} = (0,288 + 0,0019 \times DDA) \times R_{s_{inv}} \quad (5)$$

$$\text{Si } DDA > 220 \quad ET_{0_{inv}} = (1,339 - 0,00288 \times DDA) \times R_{s_{inv}} \quad (6)$$

Donde DDA es el día juliano del año y  $R_{s_{inv}}$  es la radiación solar medida dentro del invernadero (mm/día). Dado que no se cuenta con un medidor de radiación en el interior del túnel, este puede estimarse a partir de datos de radiación exterior (ec. 7), utilizando el valor de transmisividad de la cubierta ( $\tau$ ) que es función de su material, tratamiento (por ejemplo encalado), envejecimiento y limpieza del mismo.

$$R_{s_{inv}} = R_{s_{ext}} \times \tau \quad (7)$$

Donde  $R_{s_{ext}}$  es la radiación solar exterior (mm/día) medida por la estación agroclimática más cercana y para la transmisividad se ha utilizado el valor medio de 0,7 (Gavilán y col., 2014)

El coeficiente  $K_c$  considerado para este cultivo es el utilizado por García Morillo (2015) en distintos ensayos llevados a cabo en el cultivo de la fresa en Huelva.

Para el cultivo de tomate la  $ET_0$  se estima de igual forma que la fresa y los coeficientes de cultivo empleados son los determinados experimentalmente para este cultivo bajo invernadero en la Estación Experimental "Las Palmerillas" (Fernández y col., 2001).

En los cultivos bajo plástico las necesidades de riego equivalen a las necesidades ( $ET_c$ ) de la planta, pero los cultivos al aire libre cuentan con los aportes de agua de lluvia para cubrir sus necesidades hídricas por lo que debe tenerse en cuenta al determinar el volumen de agua requerido en el riego. Solo una parte del agua de lluvia es totalmente aprovechable por el cultivo o precipitación efectiva ( $P_{ef}$ ) y se determina como una fracción (0,8) del total (Smith. 1992). Por tanto, la lámina de riego requerida para los cultivos en este estudio (mm/día) se determinará mediante la ec (8).

$$V_{riego_n} = \frac{(ET_{c_{n-1}} - P_{ef_n})}{ER} \quad (8)$$

Donde el subíndice n indica día de la campaña de riego y ER es la eficiencia del sistema de riego y  $P_{ef_n}$  tiene valor nulo para los cultivos bajo cubierta.

El olivar y los cítricos son cultivos que se adaptan muy bien a un riego deficitario. Las necesidades hídricas suelen ser muy superiores a la dotación asignada por el organismo de cuenca, en este caso la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Aunque son varias las



técnicas de riego deficitario que existen se ha optado por una estrategia de riego deficitario controlado (RDC), con lo que el déficit de riego que se aplica se adapta al ciclo del cultivo, evitando o reduciendo lo máximo posible el estrés en los periodos en los que el cultivo es más sensible, en el caso del olivo; floración, endurecimiento del hueso y engorde del fruto y en el caso de los cítricos; floración y cuajado donde la ausencia de agua afecta al nº de frutos y provoca la caída de estos (González-Altozano y Castel, 1999). Por ello y con el fin de realizar un aprovechamiento óptimo de la dotación de riego se ha propuesto una adaptación de los valores de coeficiente de déficit de riego (CDR) de olivar utilizados por Fernández y col (2012), los cuales se muestran en la tabla 1. En el caso de los cítricos, García-Tejero (2010) ha estudiado los efectos de distintas estrategias de riego deficitario controlado, destacando la que aplica el mayor coeficiente de déficit durante el periodo de maduración, por lo que se proponen los valores considerados en la tabla 1.

**Tabla 1:** CDR mensuales para olivar y cítricos.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Olivar	0	0	0	1	0,8	1	0,25	0,5	1	0,5	0,1	0
Naranja	0,2	0,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,25	0,25

Los coeficientes de déficit de riego propuestos se emplean junto con la media quincenal de ETc (histórica) para realizar un reparto de la dotación conforme a las necesidades de la planta, de manera que cada quincena del mes tenga asignado un límite de uso de agua. La presencia o no de precipitaciones junto con la desviación que la ETc pueda sufrir respecto a la media histórica condicionará que se consuma o no el total del límite establecido para cada mitad del mes. Por lo que al final de cada quincena se realiza un reparto de la dotación sobrante, en caso de haberla, proporcional a las necesidades de los meses restantes, reajustándose los límites establecidos cada 15 días.

Por tanto, el volumen de riego quedará definido bien por las necesidades del cultivo (ec 8) o bien por el límite de dotación establecido. En caso de que las necesidades calculadas sean mayores que el límite de dotación asignado para un día, el volumen de riego a aplicar será el establecido por el límite de la dotación y en caso de ser menores se aplicará únicamente el volumen de riego requerido por el cultivo. Una vez se conoce el volumen a aplicar, la determinación del tiempo de riego (horas) se realiza a partir de la ec. (9)

$$t \text{ riego} = \frac{V \text{ riego} \times S \times 10.000}{q \text{ sector}} \quad (9)$$

Donde S es la superficie del sector de riego en ha y q es el caudal en l/h del sector de riego, determinado a partir de información introducida por el usuario.

### 3.4 Determinación y actualización diaria del balance de agua en el sector.

El suelo puede considerarse como un depósito del cual el cultivo toma agua. En los cultivos al aire libre es necesario considerar este depósito para determinar si es necesario regar o no en función de si el contenido de humedad del suelo es suficiente para cubrir su demanda evapotranspirativa. En cambio, en invernadero, cuando se emplean sistemas de riego por goteo, dada la elevada frecuencia de riegos se puede ignorar el papel del suelo como almacén de agua y considerar que el contenido de agua en el suelo no varía en el tiempo (Fernández y col., 2001).

Las entradas de agua en este depósito son los aportes de lluvia y riego y las salidas se corresponden con la evapotranspiración y con las pérdidas por percolación,

escurrimiento. El nivel superior de este depósito es lo que se conoce como capacidad de campo (CC) y el inferior punto de marchitez permanente (PMP), la diferencia entre un nivel y otro junto con la profundidad del suelo explorada por las raíces del cultivo determina el total de agua disponible (ATD) para el cultivo conforme a la ec (10)

$$ATD= 1000(\theta_{CC}-\theta_{PMP}) Z_r \quad (10)$$

Los límites de  $\theta_{CC}$  y  $\theta_{PMP}$  dependen de las características hidrofílicas del suelo, pudiendo relacionarse la textura del suelo con los correspondientes contenidos volumétricos de humedad (Allen y col., 1998), los cuales expresan la relación entre el volumen de agua y el total de volumen de la muestra.  $Z_r$  es la profundidad radicular expresada en metros. Tanto para olivar como cítricos se ha considerado un metro.

No todo el agua del suelo está disponible para el cultivo (ATD), solo una fracción de ella es fácilmente asimilable (AFA), aunque para olivar y cítricos estas fracciones son respectivamente el 0,65 y 0,5 del ATD (Allen y col., 1998), se ha fijado en ambos cultivos el umbral del 20% del ATD como límite de agotamiento del agua en el suelo antes de comenzar a regar, con el objetivo de evitar lo máximo posible llevar el suelo a niveles de agotamiento en los que la extracción sea más costosa para la planta y lleven asociada una reducción de la evapotranspiración.

El nivel de agotamiento de agua en suelo en un momento determinado quedará definido por la ec. (11), donde la única salida de agua del sistema considerada es la correspondiente a  $ET_c$ , ya que al tratarse de sistemas de riego por goteo se desprecian las pérdidas por percolación o escurrimiento

$$Dr_n= Dr_{n-1}-P_{ef_n}-R_n+ET_{c_n} \quad (11)$$

Siendo  $Dr_{n-1}$  el agotamiento de agua en la zona radicular el día previo n-1 (mm),  $P_{ef_n}$  la precipitación efectiva el día n (mm),  $R_n$  el volumen de agua aplicado en el riego el día n y  $ET_{c_n}$  la evapotranspiración el día n (mm).

Dado que la plataforma proporciona una recomendación de riego para una semana, se entiende que debe realizar predicciones de nivel de agotamiento para esos días. En este caso el valor de  $P_{ef_n}$  se estima a partir de las predicciones meteorológicas, para el aporte por riego  $R_n$  se considera que se ha aplicado el volumen recomendado por el modelo y  $ET_c$  se toma el valor medio de las series históricas almacenadas para ese día en la Base de Datos de la plataforma. Diariamente esta información se actualiza con información real de precipitación (estación agroclimática), riego (contador),  $ET_{c_n}$ , calculada a partir de la ec. ( 1 ) con el dato real de  $ET_0$  de ese día registrado por la estación agroclimática más cercana.

Es posible indicar el momento oportuno de riego una vez se calcula el nivel de agotamiento de humedad en el suelo, así se programarán los riegos cuando el nivel de agotamiento en el suelo sea igual o superior al contenido de agua fácilmente asimilable ( $Dr \geq AFA$ ), para maximizar el aprovechamiento del agua almacenada en el suelo. Y la lámina de riego a aplicar es la calculada conforme a la ec. (8), y por tanto menor que el nivel de agotamiento de agua ( $Dr$ ), por lo que no se vuelve a capacidad de campo, pero se cubren las necesidades de la planta a la vez que se evitan pérdidas por percolación.

## 4- Resultados

Para el cultivo del naranjo, donde se instaló el primero de los 4 ensayos de este proyecto, se ha simulado una programación de riego teniendo en cuenta la metodología descrita anteriormente para los años 2017 y 2018 y se han comparado con los consumos

mensuales reales obtenidos a partir de las lecturas que el regante realiza mensualmente en su contador de riego.

Los datos agroclimáticos se han tomado de la estación agroclimática de Hornachuelos por ser la más cercana a la finca de ensayo, de esta se han tomado los datos de precipitación y  $ET_0$  necesarios para determinar las necesidades de la planta. La plantación tiene un marco de 5,5 x 4 m y el diámetro de copa aproximado de la plantación es de 3,5 m. Existen dos ramales por cada línea de cultivo, la separación entre goteros es de 1 m, el caudal nominal de los mismos es de 2,3 l/h y la superficie de cada sector de riego es de 2 ha.

En el año 2017, el nivel de agotamiento de agua en el suelo superó pronto el nivel de AFA, lo que hizo necesario realizar aportes con agua de riego para cubrir las necesidades hídricas del cultivo que no podían ser cubiertas por el agua disponible en el suelo. Según la programación de riegos del modelo que puede verse en la figura 2, la campaña se inicia el día 8 de abril, siendo el tiempo de riego recomendado de 2 horas por sector y los días 1 y 2 de noviembre se dan los últimos riegos.



**Figura 2:** Simulación programación riego año 2017 en naranja

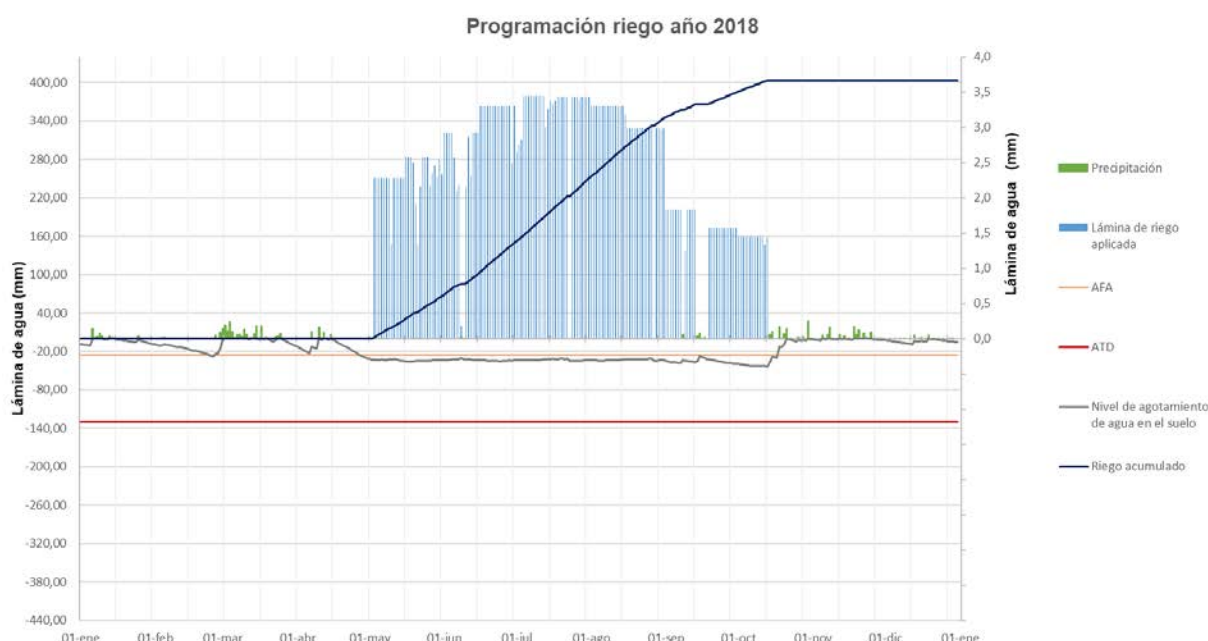
El total de volumen aplicado siguiendo la recomendación de riego proporcionada por el modelo es 4.124 m<sup>3</sup>/ha y año, mientras que el aplicado por el regante fue 4.485,2 m<sup>3</sup>/ha y año. La programación de riego facilitada por el modelo hubiese supuesto un ahorro del 8% en consumo agua y un uso más eficiente de la misma, ya que como puede verse en la tabla 2 el agricultor realizó el mayor aporte de agua en los meses de septiembre y octubre, mientras que la simulación realizada para este año recomienda unas aportaciones de agua considerablemente inferiores para esos meses, y aportes superiores en los meses iniciales de la campaña de riego, donde el cultivo es más sensible al estrés hídrico. A mediados de octubre (día 17 y 18) tuvieron lugar dos importantes eventos de lluvia que restablecen contenidos de humedad apropiados en el suelo que permiten prescindir de los riegos hasta principios de noviembre, cuando tienen lugar dos cortos eventos de riego con los que concluye la campaña de riego.



**Tabla 2:** Comparación consumo real y simulación para el año 2017

Consumo m <sup>3</sup> /ha	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	TOTAL
Simulado	323,4	178,7	961,1	1.028,6	912,1	508,8	199,1	12,2	4.124,1
Real	265,6	205,2	672,7	942,4	964,6	1.434,6			4.485,2

La precipitación en el año 2018 fue un 34,5% superior a la de 2019, por lo que la simulación realizada para este año (figura 3) sitúa el inicio de la campaña de riego el día 3 de mayo, casi un mes posterior al inicio de los riegos en el año anterior. La lámina de riego a aplicar en los primeros riegos es de 2,3 mm y el tiempo de riego necesario por sector para aplicarla es de 2 horas y 45 min. La campaña finaliza el 13 de octubre con un riego de 1h y 50 minutos por sector con el que se aplican 1,5 mm. El momento del año donde las necesidades del cultivo son mayores es la primera quincena de julio, cuando se deben aplicar 3,5 mm lo que implica una media de 4 horas de riego diarias por sector.



**Figura 3:** Simulación programación riego año 2018 en naranjo.

La tabla 3 recoge los consumos reales y simulados para cada mes del año 2018. El inicio y final de la campaña de riego se produce en los mismos meses y el consumo final es similar, siendo el consumo simulado un 3,28% inferior al real. En el caso de los consumos obtenidos mediante la simulación se aprecia que el reparto de volumen de riego difiere del que hace el agricultor, siendo mayor que el que este hace en los meses iniciales de la campaña de riego e inferior en los finales. Esto se debe a que el modelo ajusta la dotación evitando el estrés hídrico en la fase más sensible del cultivo: floración y cuajado.

**Tabla 3:** Comparación consumo real y simulación para el año 2018

Consumo m <sup>3</sup> /ha	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	TOTAL
Simulado	662,32	835,82	1.002,25	941,78	402,15	186,88	4.031,12
Real	508,16	730,03	786,49	1.247,73	670,39	225,05	4.167,86

## 5- Conclusiones

Se está desarrollando una plataforma de apoyo a la implantación de riegos de precisión en los cuatro cultivos ecológicos considerados en este proyecto. Los resultados preliminares obtenidos con el cultivo de los cítricos indican que con el uso de esta herramienta es posible reducir el uso de agua de riego entre un 3 y un 8% a la vez que se realiza un uso más eficiente del recurso ya que el modelo tiene en cuenta las fases en las que el cultivo es más sensible al estrés hídrico. Sin embargo, el potencial de ahorro cuando comparamos un riego de precisión con un riego convencional suele ser más de un 20 %.

El beneficio que la disponibilidad de herramientas de apoyo a la implantación de riegos de precisión en fincas comerciales puede estimarse extrapolando los resultados obtenidos en la finca de naranjos de este proyecto a la superficie actual de naranja ecológica de Andalucía (7.223,15 ha). En este caso podría reducirse el uso de agua entre 1 y 2,6 hm<sup>3</sup> al año como mínimo, sin mermas de la producción, reduciéndose así mismo su huella hídrica.

## 6- Bibliografía

Allen, R. G., Luis, S. P., RAES, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *Irrigation and Drainage*, 300(56), 300.

Barranco, D. (2017). *El cultivo del olivo*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid

Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage* 33. Rome, Italy.

FAO, FIDA, OMS. (2017). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2017. Fomentando la resiliencia en aras de la paz y la seguridad alimentaria*.

Fereres, E.;Pruitt, W.O.;Beutel, J.A.; Henderson, D.W.; Holzapfel, E.; Shulbach, H.; Uriu, K.(1981). ET and drip irrigation scheduling . In: Fereres, E (Ed.) *Drip Irrigation Management*. University of California, Div. of Agric. Sci. No. 21259. Pp. 8-13.

Fernandez,, E., Luque, F., Díaz, A., & Cuevas, M. V. (2012). Programación del riego deficitario controlado en el olivar. III *Jornadas de Riego y Nutrición: Vid y Olivar*, 15–17.

Fernandez M.D., Bonachela S., Orgaz F., Thompson R., López J.C., Granados M.R., Gallardo M., Fereres E. 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrigation Science*. 28:497-509.

Fernández M.D., Orgaz F., Fereres E., López J.C., Céspedes A., Pérez J., Bonachela S., Gallardo M. 2001. Programación del riego de cultivos hortícolas bajo invernadero en el sudeste español. Edita Cajamar. 78 pp.

García Morillo, J. (2015). *Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana* (tesis doctoral). Universidad de Córdoba.

García-Tejero, I. F. (2010). *Deficit irrigation for sustainable citrus cultivation in Guadalquivir river basin*. (tesis doctoral). Universidad de Sevilla.

Gavilán, P., Ruiz, N., Lozano, D., 2014 . Estimación de la evapotranspiración del cultivo de la fresa basada en pronósticos meteorológicos. Validación con datos experimentales. V Jornadas de Agrometeorología. Valencia 13 y 14 de noviembre de 2014.

Castel J.R. 2002. Evapotranspiración, balance de energía y coeficiente de cultivo de plantaciones de cítricos *en Valencia. Monografías INIA: Serie Agrícola* nº 17-2005: 210-219.

González-Altozano, P., Castel, J.R. 1999. Regulated deficit irrigation in “Clementina de Nules” citrus trees. I Yield and fruit quality effects. *Journal Horticultural Science Biotechnology* 74 (6): 706-713.

Mérida García, A., Fernández García, I., Camacho Poyato, E., Montesinos Barrios, P., & Rodríguez Díaz, J. A. (2018). Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system. *Journal of Cleaner Production*, 175, 670–682.

Rodríguez Díaz, J. A., Weatherhead, E. K., Knox, J. W., & Camacho, E. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environmental Change*, 7(3), 149–159.

Smith, M. (1992). Cropwat: A computer program for irrigation planning and management. Water Resources, Development and Management Service: Land and Water Development Division, FAO, ROME 1992.