

# Implementación de una herramienta (Irri\_DesK) para llevar a cabo un riego automático de precisión en tomate de industria

Sandra Millán<sup>1</sup>, Cristina Montesinos<sup>1</sup>, Eugenio Marquez<sup>1</sup>, Maria Borrego<sup>1</sup>, Marta Rosario<sup>1</sup>, Jaime Casadesus<sup>2</sup> y Carlos Campillo<sup>1</sup>

(1) Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX), Finca La Orden, Junta de Extremadura, Autovía A-V, Km 372, 06187 Guadajira (Badajoz), España

(2) Programa de Uso Eficiente del Agua en la Agricultura, Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), Parc de Gardeny (PCiTAL), Fruitcentre, 25003 Lleida, España.

## Introducción

En los últimos años se ha visto como el nivel de los embalses extremeños ha ido disminuyendo debido a la intensificación de la agricultura, el crecimiento demográfico y el cambio climático. La situación actual de los embalses de la provincia de Badajoz es de un 30 % de su capacidad en 2022, un 6,5% menos que el año 2021 y un 31,73% menos respecto a la media de los últimos 10 años. Esto da lugar a que las dotaciones destinadas a los campos de regadío de la provincia de Badajoz se vean reducidas y con ello una disminución de la superficie destinada al tomate de industria. Normalmente, el agua que se le aplicaba al cultivo rondaba los 6500 m<sup>3</sup>/ha, pero en los dos últimos años debido a las restricciones hídricas (25-30%), se aplica alrededor de unos 5000 m<sup>3</sup>/ha. Los problemas derivados por la falta de agua, ha llevado a los agricultores y técnicos de la zona, a adoptar sistemas de riego eficiente para disminuir el consumo de agua en la agricultura, mitigar el cambio climático y mejorar la rentabilidad de las explotaciones.

En la agricultura de regadío, las estrategias de riego deficitario controlado (RDC) consisten en imponer déficits de agua en las etapas fenológicas menos sensibles al estrés hídrico con el fin de reducir el crecimiento vegetativo afectando mínimamente al rendimiento y la calidad de los frutos (Girona et al., 1993). En tomate de industria, la adopción de estas estrategias ha demostrado ser efectiva para aumentar los sólidos solubles totales en fruto (Johnstone et al., 2005), además de suponer unos ahorros importantes de agua.

Irri\_DesK es una herramienta que permite realizar un riego de precisión que integra diferentes tecnologías: sensores, teledetección y simulaciones en Casadesús et al. (2012). Realiza un bucle diario cerrado para el control del riego aportando 4 tipos de información relevante para la programación de riego: riego aplicado, estado hídrico del suelo, vigor del cultivo y estado hídrico del cultivo. En los últimos años, a través de diferentes proyectos Irri\_DesK ha sido probado en diversos cultivos, como el ciruelo (Millán et al., 2019), manzanos (Jesús M. Domínguez-Niño et al., 2019) y olivar en seto (Millán et al., 2020). mejorando la productividad del agua en un 15% respecto de una gestión humana experta y reduce en un 80% el tiempo necesario de supervisión y control de riego.

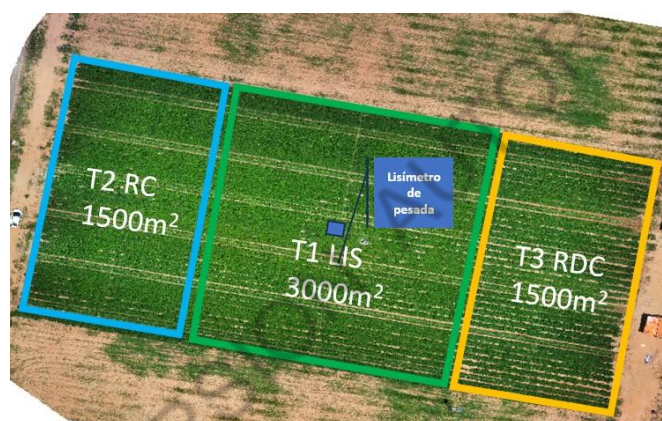
El objetivo de este trabajo es validar en condiciones de campo la herramienta Irri\_DesK para llevar a cabo un sistema de riego automatizado de riego por goteo, en una parcela de tomate de industria ubicada en las Vegas Bajas del Guadiana. Además, se evaluó como Irri\_DesK consigue producciones rentables con un límite de consumo de agua inferior a 5000 m<sup>3</sup>/ha.

## Materiales y Métodos

### *Descripción de la parcela*

El estudio se llevó a cabo en el año 2023, dentro del proyecto DIGISPAC y ET4DROUGHT en una parcela situada en la Finca Experimental "La Orden", Badajoz, España (latitud 38°51'19.06"N, longitud 6°40'18.90"W, datum WGS84), perteneciente al Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX) de la Junta de Extremadura. La parcela presenta una superficie de 6000 m<sup>2</sup> de tomate de industria (*Lycopersicum esculentum* Mill) variedad H1015, trasplantada el 15 de abril 2023 con un marco de plantación 1.5 m x 0.24 m y una densidad de plantación de 27.777 plantas/ha.

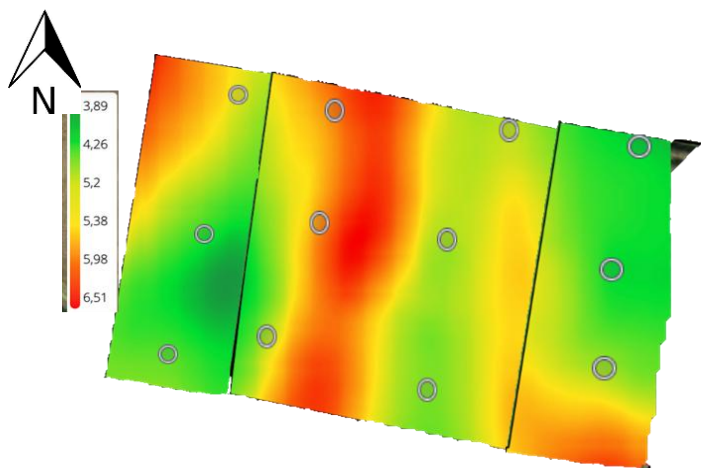
La parcela está formada por 3 parcelas elementales (sectores de riego), en la cuál se realizaban 3 tratamientos de riego diferentes: T1 (3000 m<sup>2</sup>), T2 (1500 m<sup>2</sup>) y T3 (1500 m<sup>2</sup>). En el tratamiento T1, el riego se programó para cubrir las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de todo su ciclo, en base a la ETc del día anterior, obtenido de un lisímetro de pesada (2.67 m x 2.25 m x 1.5 m) en el que se reproducían las condiciones de cultivo como en el resto del ensayo. El tratamiento T2, se llevó a cabo de manera automática con la plataforma web Irri\_Desk en el cual se realizaba un riego deficitario en la fase de maduración. El tratamiento T3, se realizó también con Irri\_Desk, pero induciendo un estrés en la fase inicial y de maduración en el cultivo. Los tomates se regaban diariamente utilizando un sistema de riego por goteo usando unos emisores con una tasa de descarga de 1 l/h, espaciados 0.30 m.



**Figura 1:** Parcela de estudio con los diferentes tratamientos. El área con cuadrado verde era gestionada según la información aportada por el lisímetro de pesada. El área con cuadrado en azul y con cuadrado amarillo indicaba el área gestionada por con la plataforma web de riego automático Irri\_Desk. LIS indica donde está ubicado el lisímetro de pesada

#### *Estudio de la variabilidad espacial de la parcela y selección de los puntos de control*

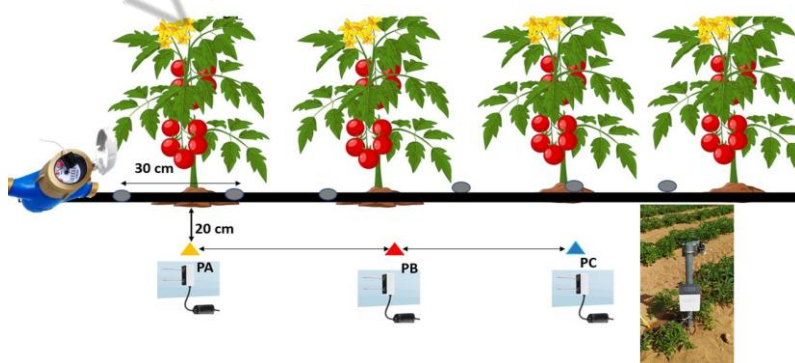
Antes de realizarse el trasplante del cultivo, se utilizó el sensor Dualem-1S para llevar a cabo una caracterización de la variabilidad espacial de la parcela en función de la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa) a una profundidad de 0-0.50 m. Se obtuvo un mapa de CEa mediante Krigado ordinario usando el programa geo estadístico QGIS 2.18, que permitió identificar zonas homogéneas en las que se establecieron los diferentes tratamientos. En el mapa se diferenciaban tres zonas diferentes: (I) Verde, zona de suelo más ligera, con valores de CEa más bajos y con mayor contenido en arena y menor capacidad de retención de agua; (II) Amarillo, con valores de CEa intermedios, textura y capacidad de retención de agua de suelo intermedia y (III) Rojo, zona con valores más altos de CEa, con una textura de suelo más arcillosa y mayor capacidad de retención de agua. En el tratamiento T2 y T3, se seleccionaron 3 puntos de control para ajustar la programación hídrica y en el tratamiento T1 se seleccionaron 6 puntos para monitorizar el estado hídrico del cultivo (Figuras 2).



**Figura 2:** Mapa de conductividad eléctrica aparente del suelo (mS/m) a 0-0.5 m.

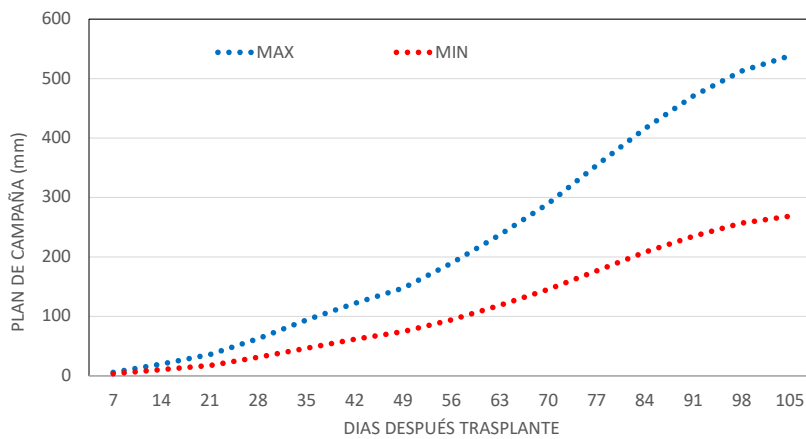
### *Riego automático de precisión: plataforma web Irri\_DesK*

En el tratamiento T2 y T3, en los puntos de control previamente seleccionados, se instalaron una serie de sensores para llevar a cabo el riego automático de precisión (figura 3) a través de la plataforma web Irri\_DesK. Inicialmente se introdujo un plan de campaña en el cual se indicaba los volúmenes máximos, y mínimos de agua a aplicar durante todo el ciclo de cultivo. En este caso la cantidad máxima aportada al cultivo debía ser 500 mm (figura 4). Estos valores permiten que el usuario incorpore los límites de agua mínimos y máximos deseados, para que el sistema ajuste el riego en función de las condiciones específicas de cada punto de control en campo. En cada punto de seguimiento manejado por Irri\_DesK se monitorizó el contenido de agua en el suelo con tres sondas de capacitancia Teros 10 (Decagon Devices, Inc., Pullman, USA). Para caracterizar el bulbo húmedo en el entorno de influencia del gotero, se colocaron tres sensores a 20 cm de profundidad y separados 10 cm del gotero en posición horizontal hacia la cama (figura 3). Los volúmenes de riego se registraron diariamente mediante medidores digitales de agua (MTKD-M, ZENNER, Villaviciosa de Odón, Madrid) instalados en cada tratamiento de riego. Además, se instaló en cada punto de control un sensor térmico apogee SI411 (Decagon Devices, Inc., Pullman, USA).



**Figura 3:** Esquema de la instalación de los sensores en el campo.

Para el manejo del sistema se incluyó un plan de campaña estacional (figura 4), en la que se introdujeron los volúmenes máximos y mínimos de agua a aplicar durante todo el ciclo de cultivo. Estos valores permiten que el usuario incorpore los límites de agua mínimos y máximos deseados, para que el sistema ajuste el riego en función de las condiciones específicas de cada punto de control en campo.



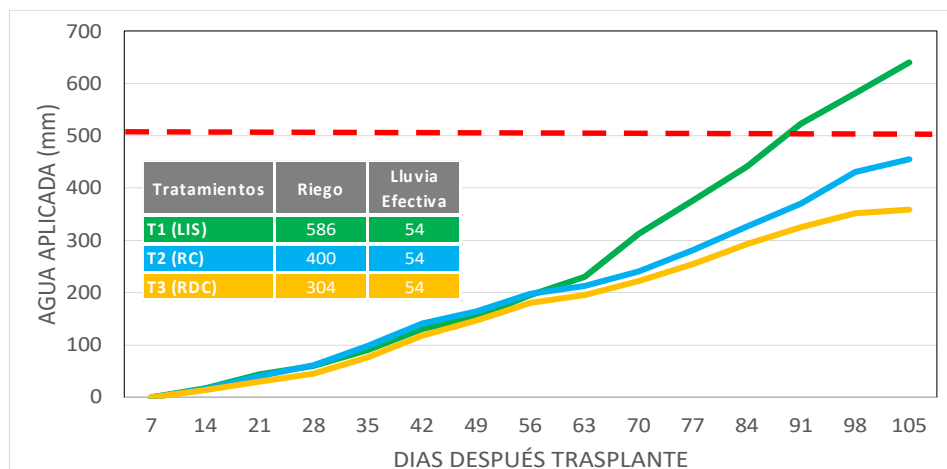
**Figura 4.** Valores de agua acumulada máximo (max) y mínimo (min) establecidos inicialmente.

### *Recolección y calidad*

La recolección se realizó el día 24/07/2023. En cada uno de los puntos de control y seguimiento se recolectaron 24 matas en 9 m<sup>2</sup> y se clasificaron los tomates rojos por un lado como producción comercial y por otro lado los verdes y pasados como producción no comercial o destrío. Al azar, de cada punto se seleccionaron 30 tomates rojos para determinar los grados Brix con un refractómetro (Mettler-Toledo, model RE4OD).

### **Resultados**

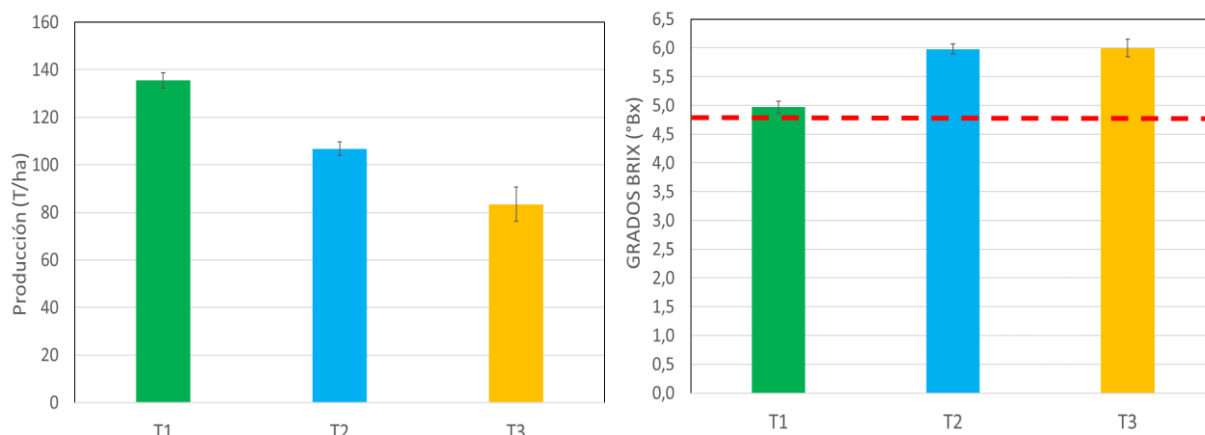
En la figura 5, se observa la cantidad de agua aplicada a cada uno de los tratamientos de riego durante toda la campaña de riego en el año 2023. La cantidad de agua aplicada por Irri\_DesK (tratamiento T2 y T3) fue menor que en el tratamiento T1 e inferior a 500 mm (línea roja), que era el límite máximo establecido inicialmente en el plan de campaña, lo que indica que el sistema respondió de forma satisfactoria a la imposición previa establecida, permitiendo los sensores instalados en los puntos de control ajustar las dosis de agua por debajo del límite máximo establecido inicialmente en el plan de campaña. En el caso del tratamiento donde no existió ningún tipo de restricciones de agua, la cantidad de agua aplicada por el tratamiento T1 fue 640 mm, un 32% superior al T2 y de un 48% en el caso de T3.



**Figura 5:** Agua aplicada en el año 2023 a cada tratamiento de riego.

La figura 6a, muestra la producción comercial en cada uno de los tratamientos del ensayo. Todos los tratamientos se cosecharon con un porcentaje de frutos rojos entorno al 90%. Se

observa que la producción en el tratamiento T1 es aproximadamente 135 toneladas por hectárea (T/ha) muy superior al tratamiento T2 y T3, esto puede ser debido a que en la zona donde se encuentra ubicada el tratamiento T1 es donde mayor contenido en arcilla tiene unido a que se aplicó mayor contenido de agua que en el resto de tratamientos. Se observa que en todo caso los tratamientos T2 y T3 mantienen una producción media superior a la media de la zona.



**Figura 6:** Producción total de tomate en kilogramos por hectárea (a) y Parámetro de calidad (° Brix) (b) medido en los diferentes tratamientos. La línea roja indica el valor umbral de rentabilidad que hay que alcanzar para que se pague el 100% de la producción obtenida

La calidad del cultivo es un factor importante a tener en cuenta a la hora de establecer los rendimientos económicos del cultivo, ya que en el caso de valores altos de grados Brix se realiza un pago mayor sobre la producción. De esta forma en la figura 6b, se observa los ° Brix obtenidos en los diferentes tratamientos durante la campaña 2023.

Para este tipo de estudios es fundamental adaptar las estrategias empleadas a la rentabilidad del cultivo para el agricultor. Para ello, sin consideramos los ingresos obtenidos por el agricultor en euros/ha en la aplicación de estrategias de riego deficitario en el tomate de industria, se observa que provocó que en el tratamiento T2 y T3 los ° Brix obtenidos son mayores que en el tratamiento T1, esto se traduce en un aumento de la rentabilidad del cultivo (figura 7). Los euros por hectárea obtenidos en el tratamiento T2 se acercan más a los obtenidos por el tratamiento T1 al aplicarle los incrementos en fábrica por los niveles de Brix, superiores a 4,8, reduciendo así, las diferencias de rentabilidad obtenidas inicialmente sólo considerando la producción comercial. Además, hay que tener en cuenta que, debido a las condiciones de sequía los agricultores deben de ajustar las dosis de agua aportar en los cultivos o reducir la superficie de cultivo. Si analizamos con los datos obtenidos cual sería la opción más rentable y que permitiera hacer un cultivo sostenible medioambiental y económicamente, debemos considerar los ingresos obtenidos por el cultivo y la oportunidad en el uso del agua entendida como la rentabilidad obtenida por cada hectárea de terreno en el caso de tener que mantener una dotación de agua inferior a las necesidades del cultivo.

En primer lugar, si analizamos la productividad del agua por cada kilo de tomate producido obtenemos unos valores de 23,12 Kg/m<sup>3</sup> en T1, 26,67 para T2 y de 27,43 para T3, lo que nos indica que los tratamientos T2 y T3 tienen una productividad del agua mayor que T1. También se ha indicado que, aunque en T2 existió una importante merma de la producción comercial, el aumento de calidad pudo compensar las diferencias de rentabilidad respecto al tratamiento T1, sin restricciones de agua.

En segundo lugar, los volúmenes aplicados en el tratamiento T1, hubieran obligado a reducir la superficie de cultivo en un 25% para ajustarse a las dotaciones establecidas (5000 m<sup>3</sup>/ha). Sin embargo, el ajuste en el caso del tratamiento T3 a unas dotaciones de agua inferiores en casi un 50% a T1 permitirían aumentar la superficie en un 25%. En el caso del tratamiento

2, el ajuste de la dotación máxima permitiría mantener la misma superficie con los volúmenes de agua establecidas por superficie.

A partir de la combinación de ambos factores, el aumento de calidad y la posibilidad de mantener o reducir la superficie en función de la dotación, obtenemos los valores de oportunidad en el uso del agua para cada uno de los tratamientos. Los datos obtenidos muestran que el tratamiento T2 tiene unos mejores ingresos teóricos por oportunidad que el tratamiento T1 (figura 7). Esto debe ser tenido muy en cuenta a la hora de establecer los parámetros necesarios para la sostenibilidad del cultivo.



**Figura 8:** Ingresos y Oportunidad en el uso del agua en euros por hectárea para cada uno de los tratamientos.

## Conclusiones

En este estudio se probó un sistema de riego automático de precisión en un cultivo de tomate de industria con la plataforma web Irri\_DesK, comparando con la gestión de riego realizada de manera manual con la información aportada por un lisímetro de pesada:

- Irri\_DesK utilizó un volumen de agua inferior al tratamiento T1 (entorno al 40% de media), adaptándose en cada zona a la información proporcionada por los sensores.
- Irri\_DesK permite mantener una buena producción con un límite de agua fijado como objetivo inicial.
- Irri\_DesK puede ajustar la programación del riego en función del contenido de agua del suelo y mejorar el uso eficiente del agua.
- Irri\_DesK consigue mejorar la calidad del tomate de industria con la consiguiente rentabilidad del cultivo
- La aplicación de riego deficitario durante la fase inicial del cultivo ha reducido el desarrollo de los cultivos, provocando una disminución significativa de la producción.
- Es necesario identificar los momentos fenológicos más cruciales para evitar situaciones de estrés en épocas sensibles. En este sentido, el uso de sistemas de monitorización del desarrollo de los cultivos con NDVI facilitará un mejor ajuste del desarrollo de los cultivos al plan estacional de riego.

## Agradecimientos

Al Proyecto ET4DROUGHT (PID2021-127345OR-C33) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación en el marco del Programa Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2021-2023 y al proyecto DigiSPAC (TED2021-131237B-C22). Financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación en el marco de la convocatoria nacional de



transición ecológica y digital del plan estatal de investigación científica, técnica y de innovación 2021-2023. Cofinanciados con fondos FEDER.

## Bibliografía

Casadesús, J., Mata, M., Marsal, J., and Girona, J. (2012). A general algorithm for automated scheduling of drip irrigation in tree crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 83, 11-20.

Johnstone, P.R, Hartz, T.K, LeStrange, M., Núñez, J.J. y Miyao, E.M. (2005). Manejo de los sólidos solubles de la fruta con riego deficitario al final de la temporada en la producción de tomate para procesamiento con riego por goteo. *HortScience*, 40 (6), 1857-1861.

Domínguez-Niño, J. M., Oliver-Manera, J., Girona, J., and Casadesús, J. (2020). Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 228, 105880.

Girona, J.; Mata, M.; Goldhamer, D.; Johnson, R.; DeJong, T. Patterns of Soil and Tree Water Status and Leaf Functioning during Regulated Deficit Irrigation Scheduling in Peach. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 1993, 118, 580–586.

Millán, S., Campillo, C., Casadesús, J., Moñino, M. J., Vivas, A., & Prieto, M. H. (2019). Automated irrigation scheduling for drip-irrigated plum trees. In *Precision agriculture'19* (pp. 59-66). Wageningen Academic Publishers.

Millán, S., Campillo, C., Casadesús, J., Pérez-Rodríguez, J. M., and Prieto, M. H. (2020). Automatic Irrigation Scheduling on a Hedgerow Olive Orchard Using an Algorithm of Water Balance Readjusted with Soil Moisture Sensors. *Sensors*, 20(9), 2526.

VERSION AUTOR