



D-05-2023

Comunicación científico-técnica

PLATAFORMA TIERRA: HERRAMIENTA DIGITAL PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE RIEGO EN INVERNADERO

TIERRA PLATFORM: DIGITAL TOOL FOR THE ELABORATION OF IRRIGATION PLANS IN GREENHOUSES

Autores: Fernández, M^a D.¹; Magán, J.J.¹; Cespedes, A.²; Blas, A.²

¹ Fundación Grupo Cajamar, E.E. Las Palmerillas, Paraje Las Palmerillas nº 25, 04710 El Ejido, Almería, mdoloresfernandez@fundacioncajamar.com

² PLATAFORMA TIERRA SA, Puerta de Purchena nº 10, 04001 Almería

Resumen:

La normativa recientemente aprobada sobre la nutrición sostenible en los suelos agrarios (Real Decreto 1051/2022) y la implantación del cuaderno digital en las explotaciones agrícolas (Real Decreto 1054/2022), van a obligar a las explotaciones de invernadero a contar con un plan de riego basado en la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ETc). En los últimos años se han realizado avances considerables en la adaptación de la metodología FAO para estimar la ETc para los cultivos en invernaderos mediterráneos. Este método fue calibrado y validado para su uso en cultivos hortícolas en invernadero en el sudeste de España, desarrollándose el software PrHo (© 2008 Fundación Cajamar), que permite estimar la ETc de los cultivos hortícolas bajo invernadero a partir de los valores diarios de radiación solar y la temperatura media del aire en invernadero. En la actualidad, dicho software está implementado en la herramienta digital para la programación del riego de Plataforma TIERRA (<https://www.plataformatierra.es>). Esta plataforma permite calcular la ETc en las principales zonas de invernaderos de España a partir de datos diarios de radiación solar y temperatura medidos en exterior en la estación SIAR (www.siar.es) más próxima. En función del tipo de invernadero y la aplicación de encalado se estima la radiación solar dentro de invernadero a partir de la radiación solar exterior y la transmisividad de la cubierta del invernadero. La temperatura media dentro de invernadero se estima a partir de la temperatura media exterior con



XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



una relación lineal sencilla, que fue calibrada en condiciones de Almería y que ha mostrado ser precisa en condiciones de invernadero en Huelva.

La elaboración de un plan de riego para todo el ciclo de cultivo se realiza con datos climáticos históricos promedio de una serie suficientemente larga. El objetivo de este trabajo fue validar la precisión de la ET_c estimada con datos históricos ($ET_{Chistórica}$) frente a los valores medidos con un lisímetro de pesada durante un ciclo de tomate en invernadero. La ET_c estacional medida e histórica ascendió a 284 y 301 mm, respectivamente, el error cuadrático medio (RMSE) fue de $0,36 \text{ mm día}^{-1}$ y las mayores diferencias se produjeron en días nublados. Estas diferencias fueron menores cuando se usaron los datos climáticos medidos en tiempo real para estimar la ET_c (ET_{Creal}), con un valor estacional de 287 mm y un RMSE de $0,24 \text{ mm día}^{-1}$ respecto a los valores medidos. El plan de riego basado en la $ET_{Chistórica}$ presentó una buena precisión, sobreestimando en un 6% los valores medidos. A efectos prácticos, se puede conseguir un uso más eficiente del agua si el plan de riego basado en la $ET_{Chistórica}$ se actualiza con los valores de ET_{Creal} conforme avanza el ciclo de cultivo.

Palabras clave: datos históricos, evapotranspiración, hortalizas, eficiencia en el uso del agua

Abstract:

The recently approved regulations on sustainable nutrition in agricultural land (Royal Decree 1051/2022) and the implementation of the digital notebook on farms (Real Decreto 1054/2022) will oblige greenhouse farms to have an irrigation plan based on the estimation of crop evapotranspiration (ET_c). Considerable progress has been made in recent years in adapting the FAO methodology for estimating ET_c for Mediterranean greenhouse crops. This method was calibrated and validated for use in greenhouse horticultural crops in southeastern Spain, and the PrHo software was developed (© 2008 Fundación Cajamar), which allows estimating ET_c of greenhouse horticultural crops from daily values of solar radiation and average greenhouse air temperature. Currently, this software is implemented in the digital tool for irrigation scheduling of Plataforma TIERRA (<https://www.plataformatierra.es>). This platform calculates ET_c in the main greenhouse areas of Spain based on daily solar radiation and temperature data measured outdoors at the nearest SIAR station (www.siar.es). Depending on the type of greenhouse and the application of whitewash, the solar radiation inside the greenhouse is estimated from the external solar radiation and the transmissivity of the greenhouse roof. The average temperature inside the greenhouse is estimated from the average outside temperature with a simple linear relationship, which was calibrated under greenhouse conditions in Almeria and has been shown to be accurate under greenhouse conditions in Huelva.

The elaboration of an irrigation plan for the whole crop cycle is carried out with historical climatic data averaged over a sufficiently long series. The objective of this work was to validate the accuracy of ET_c estimated with historical data (ET_{Chistorical}) against the values measured with a weighing lysimeter during a greenhouse tomato cycle. The measured and historical seasonal ET_c amounted to 284 and 301 mm, respectively, the root mean square error (RMSE) was 0.36 mm day⁻¹ and the largest differences occurred on cloudy days. These differences were smaller when real-time measured climate data were used to estimate ET_c (ET_{Creal}), with a seasonal value of 287 mm and an RMSE of 0.24 mm day⁻¹ from the measured values. The irrigation schedule based on ET_{Chistorical} ET had a good accuracy, overestimating the measured values by 6%. For practical purposes, more efficient water use can be achieved if the ET_{Chistorical} based irrigation schedule is updated with ET_{Creal} values as the crop cycle progresses.

Keywords: historical data, evapotranspiration, vegetables, water use efficiency

1. Introducción

La normativa recientemente aprobada sobre la nutrición sostenible en los suelos agrarios (Real Decreto 1051/2022) establece la obligatoriedad de contar con un plan de abonado en las explotaciones, así mismo será necesario contar con un plan de riego basado en la estimación de la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Para las explotaciones que cuenten con superficie invernada será obligatorio el uso del Cuaderno Digital de Explotación Agrícola (CUE) (Real Decreto 1054/2022), en el que deben quedar reflejadas las operaciones de fertilización y riego realizadas, las cuales deben estar basadas en sus correspondientes planes de riego y abonado.

La ET_c de los cultivos de invernadero se puede estimar a partir de los valores diarios de radiación solar y la temperatura media del aire en invernadero [5] y ha demostrado su precisión en el sudeste de España [3]. El modelo de ET_c para invernadero [5], basado en el modelo de la ET_c de la FAO [1], inicialmente se implementó en el software PrHo (© 2008 Fundación Cajamar) y en la actualidad está integrado en la herramienta digital para la programación del riego de Plataforma TIERRA (<https://www.plataformatierra.es>). La aplicación de este modelo de ET_c a otras zonas de invernadero de España requiere disponer de datos de radiación solar y temperatura del aire en invernadero, pero en la actualidad se carece de una red de estaciones ubicadas dentro de invernadero. Una alternativa es utilizar los datos diarios de radiación solar y temperatura medidos en exterior en la estación SIAR (www.siar.es) más próxima, y que es usado por Plataforma TIERRA. En función del tipo de invernadero y la aplicación de encalado se estima la radiación solar dentro de invernadero a partir de la radiación solar exterior y la transmisividad de la cubierta del invernadero. La temperatura media dentro de invernadero se estima a partir de la temperatura media exterior con una relación lineal sencilla, que fue calibrada en condiciones de Almería y que ha mostrado ser precisa en condiciones de invernadero en Huelva [8].

Para elaborar un plan de riego para todo el ciclo de cultivo es necesario utilizar los datos climáticos históricos. En invernadero, la ET_c estimada usando los datos climáticos históricos (ET_{Chistórica}) medidos dentro de invernadero ha mostrado buena precisión [3], pero no se ha validado la precisión de la ET_{Chistórica} estimada a partir de datos climáticos históricos medidos en exterior.

El objetivo de este trabajo fue validar la precisión de la ET_c estimada con datos históricos (ET_{Chistórica}) frente a los valores medidos con un lisímetro de pesada durante un ciclo de tomate en invernadero.

2. Materiales y métodos

La ETc de un cultivo de tomate se midió en un invernadero de la Estación Experimental “Las Palmerillas” de la Fundación Grupo Cajamar, El Ejido, Almería (36° 48' N; 2° 3' O; 155 m altitud). El invernadero de 432 m² (24 m × 18 m), tipo parral asimétrico, estaba cubierto con un plástico tricapa térmico de 0,2 mm de espesor. Las ventanas laterales y cenital estaban automatizadas mediante un controlador (Priva WeatherStation, Priva, LC De Lier, Holanda). El medio de cultivo era suelo enarenado, compuesto de una capa de 0,4 m de suelo limo-arcilloso aportada y una capa superior de 0,1 m de arena gruesa y grava fina. El invernadero se encaló ligeramente al inicio del cultivo resultando una transmisividad (τ) a la radiación solar del 37%, aumentando al 63% cuando se lavó el encalado el 19/09/2020. El invernadero se volvió a encalar el 22/02/2021 y 28/03/2021 resultando una transmisividad de 49 y 31%, respectivamente. El sistema de riego era por goteo, con goteros interlínea autocompensantes (UniRam, Netafim, Tel Aviv, Israel), con una separación de 1,5 m entre ramales portagoteros y 0,5 m entre goteros dentro de la línea portagoteros. El coeficiente de uniformidad del sistema de riego fue del 0,95.

El cultivo de tomate (*Solanum sculentum*) var. Realsol se transplantó el 10/09/2020, finalizando el 02/05/2021. La densidad de plantación fue 1,33 plantas m⁻², con una distancia de 1,5 m entre líneas y 0,5 m entre plantas dentro de la línea. El control de plagas y enfermedades se realizó con control integrado, con medidas de control biológico de plagas mediante sueltas de enemigos naturales; y medidas de control químico para tratar enfermedades fúngicas. El agua de riego era de pozo con una conductividad eléctrica de 2 dS m⁻¹. Los aportes de agua de riego se calcularon a partir de la ETc estimada [5]. Los aportes de fertilizantes se calcularon con el DSS-VegSyst [9]. El estado hídrico y nutritivo del suelo se monitorizó periódicamente con tensiómetros y sondas de succión, respectivamente.

El volumen de agua de riego aportado se midió diariamente con un contador de pulsos volumétrico (Modelo Multijet, ARAD, Barcelona, España), además también se cuantificó a partir del tiempo de riego y el caudal medio aportado por los goteros. Durante el ciclo de cultivo de tomate se midió dentro de invernadero la temperatura del aire (T_{inv}) con un aspirópsicrómetro ventilado de Vaisala (HMP45, Vaisala, Vantaa, Finlandia) y la radiación solar (R_{Sinv}) incidente a partir del 27/11/2020 con un radiómetro neto (CNR1, Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands). Las medidas se realizaron cada 2 segundos, y se promediaron y almacenaron cada 5 minutos en un datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Ltd, Leicestershire, UK).

La evapotranspiración del cultivo de tomate (ETc, mm día⁻¹) en invernadero se midió diariamente con un lisímetro de pesada [13] y microlisímetros [2]. El lisímetro de pesada (Agrosolmen SA, Murcia, España) estaba ubicado a lo largo una línea de cultivo en la parte norte del invernadero, tenía 1,5 m de longitud, 0,45 m de ancho y 0,5 m de profundidad con una precisión mínima de 0,15 mm [13]. La evapotranspiración diaria medida con el lisímetro

de pesada, que representaba la transpiración de tres plantas de pepino y la evaporación de una superficie de 1,5 m x 0,45 m, se determinó cuantificando a diario la diferencia de peso del contenedor de suelo, del contenedor de drenaje del lisímetro y el peso de los aportes de agua de riego y de las recolecciones. A esta evapotranspiración se le sumó la evaporación diaria medida con cuatro microlisímetros con un diámetro de 0,084 m y una profundidad de 0,15 m, en el resto de la superficie entre líneas de cultivo (1,5 m x 1,05 m).

La ET_c medida se comparó con los valores de ET_c estimados ($ET_{Chistorica}$) a partir de los valores históricos de radiación solar ($R_{S_{inv}}$) y temperatura media (T_{inv}) dentro de invernadero (www.plataformatierra.es). La evapotranspiración del cultivo de referencia diaria (ET_o , mm día⁻¹) se estimó a partir de $R_{S_{inv}}$ con un método localmente calibrado en Almería [3-6]. El coeficiente de cultivo diario (K_c) a lo largo del ciclo de cultivo se estimó con un modelo [12] basado en el tiempo térmico acumulado (TTA). El TTA se calculó como el acumulado de la diferencia entre T_{inv} y la temperatura base (se consideró 10°C). Los datos de $R_{S_{inv}}$ y T_{inv} se calcularon a partir de dichos valores registrados en exterior. La $R_{S_{inv}}$ se calcula a partir de la radiación solar medida en exterior ($R_{S_{ext}}$) y la transmisividad del invernadero (τ). La herramienta de programación del riego de Plataforma TIERRA incluye una base de datos con valores de τ para las geometrías de cubierta de invernadero más habituales en España y para tres condiciones de encalado de la cubierta. Los valores de τ usados fueron 0,65 para el periodo sin encalado, 0,45 para el encalado de inicio de ciclo y el realizado el 22/02/2021 y 0,30 para el encalado aplicado el 28/03/2021.

$$R_{S_{inv}} = R_{S_{ext}} \times \tau$$

La T_{inv} se estima a partir de la temperatura media diaria medida en exterior (T_{ext}) con una relación lineal simple, calibrada a partir de una serie histórica de 19 años de temperatura medida en exterior y dentro de un invernadero de clima pasivo sembrado de gramíneas en El Ejido (Almería) [7]. Esta relación lineal mostró buena precisión cuando se validó en condiciones de invernadero en Huelva [8].

$$T_{inv} = b \times T_{ext}$$

Los datos de $R_{S_{ext}}$ y T_{ext} proceden de la estación agroclimática de la red RIA (Red de Información Agroclimática de Andalucía, Junta de Andalucía) en La Mojonera (Almería), situada a 1,5 Km de distancia. Los datos diarios históricos se obtuvieron como el promedio de los valores diarios de la serie histórica de $R_{S_{ext}}$ y T_{ext} del 2000 al 2020.

Además, la ET_c se estimó usando los datos climáticos medidos en exterior durante el ciclo de cultivo o datos en tiempo real (ET_{Creal}) en dicha estación agroclimática.

Los modelos para estimar la T_{inv} y $R_{S_{inv}}$ se validaron con datos medidos en exterior e invernadero en la Universidad de Akdeniz, Antalya, Turquía (36° 53' N, 30° 38' E). El invernadero de plástico era de tipo multitúnel de 25 m de largo, 9,6 m de ancho y orientado N-S, sin calefacción y ventilado pasivamente con ventanas laterales y en el techo, lo que

representa el tipo de invernadero más común en la región. El invernadero estuvo encalado del 29/04/2021 al 28/06/2021 y del 22/04/2022 al 27/06/2022. Los valores de τ usados fueron 0,65 y 0,45 para el periodo sin y con encalado, respectivamente.

Los valores estimados de $ET_{\text{historica}}$ y ET_{real} se compararon con los valores medidos durante el ciclo de cultivo. La precisión de la ET_c estimada usando los datos climáticos medidos en tiempo real (ET_{creal}) e históricos ($ET_{\text{historica}}$) se evaluó mediante la determinación del error cuadrático medio (RMSE, mm día⁻¹).

3. Resultados y discusión

La Figura 1 muestra la evolución de los valores diarios de la ET_c medida y estimada para un cultivo de tomate en invernadero durante la campaña 2020/21. La ET_c medida osciló entre valores de 0,2 y 2,1 mm d⁻¹, con un valor promedio de 1,2 mm d⁻¹. Los valores de ET_c fueron bajos en comparación con cultivos al aire libre ya que, la mayor parte del ciclo de cultivo se desarrolló en periodo de baja demanda evaporativa (otoño e invierno) y el invernadero se encaló en primavera. Esto determinó que la ET_c estacional medida fuera de 284 mm para un ciclo de cultivo de 234 días de duración. La ET_c estimada a partir de los valores promedio de una serie histórica de temperatura y radiación solar ($ET_{\text{historica}}$) ascendió a 301 mm, oscilando entre 0,3 y 1,9 mm d⁻¹, con un valor promedio de 1,3 mm d⁻¹.

La validez del modelo de ET_c implementado en Plataforma TIERRA, basado en datos históricos ($ET_{\text{historica}}$), fue alta como indican los valores de RMSE. El error a corto plazo fue de 0,36 mm día⁻¹ (RMSE), registrándose las mayores diferencias entre la ET_c medida y $ET_{\text{historica}}$ en días nublados. El plan de riego basado en la $ET_{\text{historica}}$ sobreestimó en un 6% los valores medidos para el conjunto del ciclo de cultivo. La precisión del modelo de ET_c aumentó ligeramente cuando se usaron los datos climáticos medidos en exterior en tiempo real (ET_{creal}), con un valor estacional de 287 mm y un RMSE de 0,24 mm día⁻¹ respecto a los valores medidos.

La programación del riego basada en datos climáticos históricos ha sido propuesta en áreas con poca variabilidad interanual de la ET_o [4-10-11]. En un estudio realizado por [3] los valores de ET_c estacional simulados a partir de datos climáticos históricos no fueron significativamente diferentes de los valores correspondientes de ET_c estimada con datos climáticos en tiempo real. Además, estos autores determinaron los valores simulados del déficit hídrico máximo acumulado en el suelo utilizando balances simples de agua en el suelo comparando los valores diarios de $ET_{\text{historica}}$ y ET_{creal} para programar el riego. En la mayoría de los casos no se detectaron déficits de agua en el suelo que afectaran a la productividad de los cultivos de invernadero [3].

El modelo de ET_c para los cultivos en invernadero y basado en datos climáticos registrados en exterior permite elaborar programas de riego mejor adaptados a las condiciones climáticas de la zona que el modelo previo, basado en datos climáticos medidos dentro de invernadero [5]. Sin embargo, la precisión de la ET_c estimada dependerá de la precisión de los modelos para

estimar T_{inv} y R_{Sinv} a partir de los datos registrados en exterior. La Figura 2 muestra la evolución de la temperatura y radiación solar medidos dentro de invernadero, así como los valores estimados a partir de los valores registrados en exterior durante el ciclo de cultivo (datos en tiempo real) e históricos. El modelo de estimación de la T_{inv} desarrollado para un invernadero sin control de las ventanas presentó una alta precisión hasta mediados de febrero, especialmente cuando se usaron los datos medidos en exterior en tiempo real (Figura 2a). A partir de esta fecha, en general el modelo infraestimó los valores medidos. Esta menor precisión pudo estar causada por la apertura y cierre de ventanas ejercida por el controlador de clima para alcanzar los valores de consigna fijados. Los valores de R_{Sinv} fueron estimados con una alta precisión durante el periodo sin encalado (27/11/2020 al 19/02/2021), pero disminuyó cuando se encaló el invernadero durante primavera (Figura 2b). La precisión del modelo de R_{Sinv} cuando el invernadero se encala se podría mejorar si el usuario introduce los datos de τ , pero sería necesario medirla.

Adicionalmente, los modelos de estimación de T_{inv} y R_{Sinv} fueron validados con datos registrados en Antalya (Turquía). Ambos modelos estimaron con precisión los valores medidos de T_{inv} y R_{Sinv} a largo plazo (Figura 3), con una infraestimación y sobreestimación del 2%, respectivamente (pendiente de la recta de regresión, Figura 3). A corto plazo, los errores (RMSE) en la estimación de T_{inv} y R_{Sinv} fueron de 1,92 °C y 1,10 MJ m⁻² d⁻¹, respectivamente. La precisión del modelo de T_{inv} fue similar a la obtenida cuando se aplicó a condiciones de invernadero de Huelva [8] y presentando una menor precisión durante el periodo de invierno, que puede estar asociado con el manejo de las ventanas.

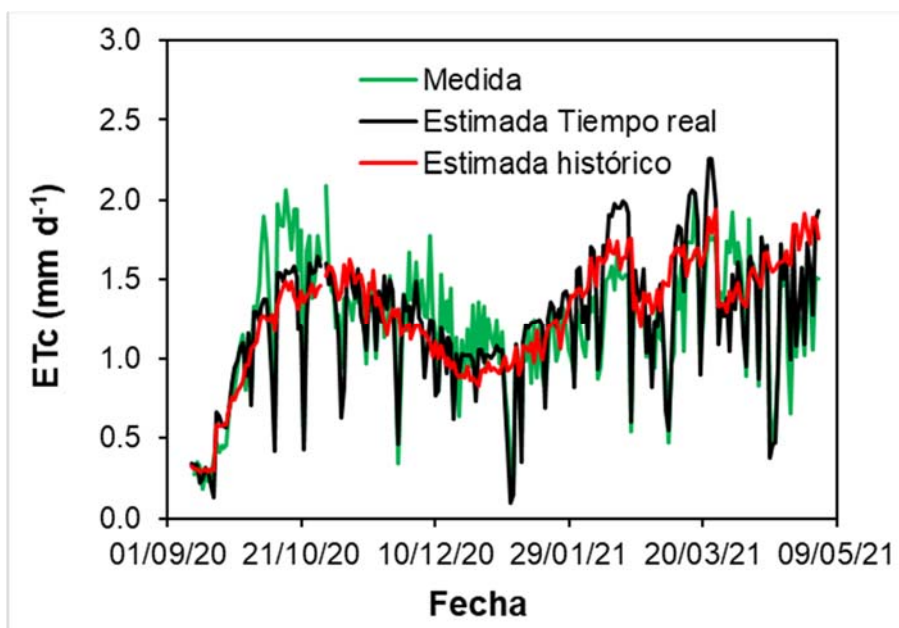


Figura 1. Evolución de los valores diarios de la evapotranspiración de un cultivo (ETc) de tomate en invernadero medidos con un lisímetro de pesada y los valores estimados a partir de la temperatura y radiación solar registrados durante el ciclo de cultivo (tiempo real) y promedio de una serie histórica.

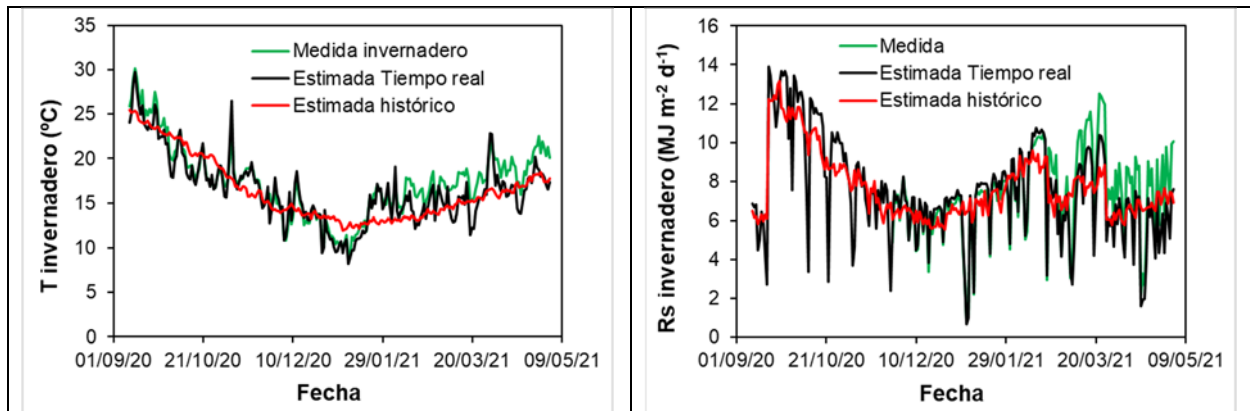


Figura 2. Evolución de los valores diarios de la temperatura (a) y la radiación solar (b) medidos dentro de invernadero y estimados a partir de los valores registrados en exterior en tiempo real e históricos.

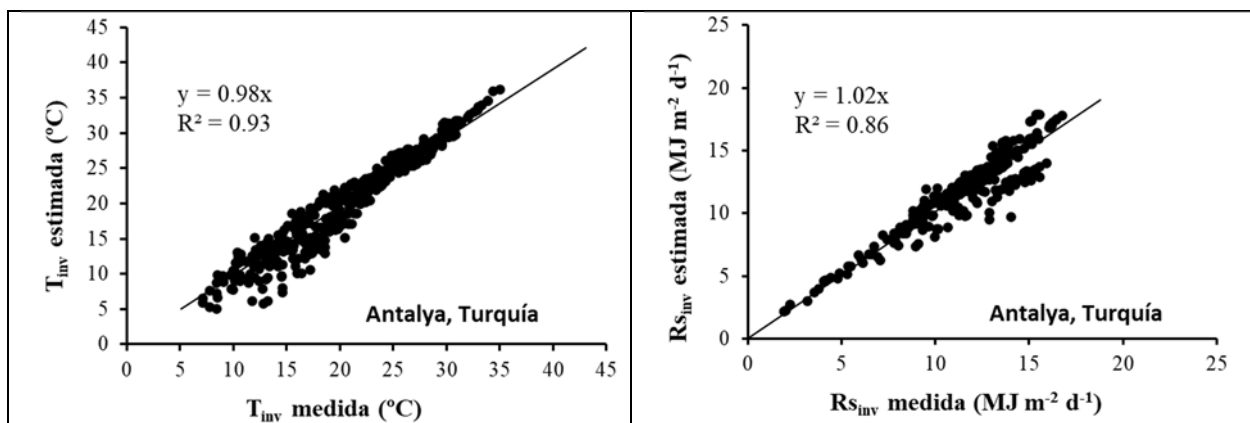


Figura 3. Comparación entre la temperatura media diaria del aire (T_{inv}) y la radiación solar ($R_{\text{s inv}}$) en invernadero estimada y medida entre el 26/02/2021 al 22/07/2022. La temperatura y radiación se midió en invernadero y exterior en Antalya, Turquía en el marco del proyecto PRIMA iGUESS-MED.

4. Conclusiones

La herramienta de programación de riegos de Plataforma TIERRA permite la elaboración de planes de riego para cualquier zona de cultivos en invernadero en España de acuerdo con los requisitos establecidos en el Real Decreto 1051/2022. Además, es una herramienta precisa que puede ayudar en la confección del Cuaderno Digital de Explotación Agrícola (CUE) (Real Decreto 1054/2022).

5. Agradecimientos

Estudio financiado por el proyecto iGUESS-MED, EU H2020. Grant Agreement Number 1916. Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area Programme (PRIMA). Call 2019 Section 1 Farming IA.

Referencias

1. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Irrigation and Drainage, 1998. Paper 56.
2. Bonachela, S.; Orgaz, F.; Villalobos, F. J.; Fereres, E. Measurement and simulation of evaporation from soil in olive orchards. *Irrigation Science*, 1999. Vol. 18: 205-211.
3. Bonachela, S.; González, A.M.; Fernández, M.D. Irrigation scheduling of plastic greenhouse vegetable crops based on historical weather data. *Irrigation Science*, 2006. Vol. 25(1): 53-62.
4. Enciso, J.; Wiedenfied, B. Irrigation guidelines based on historical weather data in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Agricultural water management*, 2005. Vol. 76(1): 1-7.
5. Fernández, M.D.; Baeza, E.; Céspedes, A.; Pérez-Parra, J., Gázquez, J.C. Validation of On-Farm Crop Water Requirements (PrHo) Model for Horticultural Crops in an Unheated Plastic Greenhouse. *Acta Horticulturae*, 2009. Vol. 807: 265-270.
6. Fernández, M.D.; Bonachela, S.; Orgaz, F.; Thompson, R.; López, J.C.; Granados, M.R.; Gallardo, M.; Fereres, E. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrigation Science*, 2010. Vol. 26: 497-509.
7. Fernández, M.D.; López, J.C.; Baeza, E.; Céspedes, A.; Meca, D.E.; Bailey, B. Generation and evaluation of typical meteorological year datasets for greenhouse and external conditions on the Mediterranean coast. *International Journal of Biometeorology*, 2015. Vol. 59: 1067-1081.
8. Fernández, M.D.; Céspedes, A.J.; Magán, J.J.; Bonachela, S. Programación del riego en invernadero mediante la herramienta de PLATAFORMA TIERRA. 51 Seminario de Técnicos y especialistas en Horticultura. Libro de resúmenes, 2022. Pag., 61 (<https://www.plataformatierra.es/innovacion/seminario-tecnico-horticultura-sostenible/>).
9. Gallardo, M.; Peña-Fleitas, M. T.; Giménez, C.; Padilla, F. M.; Thompson, R. B. Adaptation of VegSyst-DSS for macronutrient recommendations of fertigated, soil-grown, greenhouse vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 2023. Vol. 278, 107973.
10. Hanson, B.R.; Keita, K. Historical reference crop ET reliable for irrigation scheduling during summer. *Calif. Agric.*, 1999. Vol. 53(3):32-36.
11. Hill RW, Allen RG (1996) Simple irrigation scheduling calendars. *J Irrig Drain Eng* 122(2):107-111
12. Sánchez, F. Medida y simulación de la evapotranspiración de un cultivo de tomate (ETc) en invernadero en el litoral de Almería. 2022. Universidad de Almería. Trabajo fin de grado.
13. Soler-Méndez, M.; Parras-Burgos, D.; Mas-Espinosa, E.; Ruíz-Canales, A.; Intrigliolo, D.S.; Molina-Martínez, J. M. Standardization of the dimensions of a portable weighing lysimeter designed to be applied to vegetable crops in Mediterranean climates. *Sustainability*, 2021. Vol. 13(4): 2210.