

DESARROLLO Y DIFUSIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN CULTIVOS HORTÍCOLAS EN INVERNADERO Y SUELO ENARENADO.

Fernández Fernández M D., López Hernández J.C., Bonachela Castaño S., Gallardo Pino M.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los métodos más extendidos para la programación de riegos es el balance de agua. En el caso de los cultivos bajo invernadero y con sistemas de riego por goteo, el balance de agua se simplifica y las dosis de riego netas son equivalentes a la evapotranspiración (ETc) máxima del cultivo, ya que se asume que el contenido de agua en el suelo se mantiene constante, debido a la alta frecuencia de riegos. El modelo de estimación de la ETc de la FAO, sencillo y ampliamente usado en cultivos al aire libre, ha sido calibrado para su uso en cultivos en invernadero. Este modelo permite separar los efectos del clima y cultivo sobre las necesidades de agua de los cultivos, permitiendo adaptar las dosis de riego a distintas condiciones de manejo (fecha de siembra, tipo de protección, encalado, etc).

Un software que incorpore toda la información generada en la E.E. de Cajamar “Las Palmerillas” permitiría que el riego se gestione con criterios técnicos, así como la posibilidad de incorporarlo a los ordenadores de riego.

Los objetivos de este proyecto fueron:

1. Desarrollar un software para estimar las dosis de riego de los cultivos en invernadero y suelo enarenado bajo distintas condiciones de cultivo.
2. Difusión del software al sector hortícola.

Estación Experimental de Cajamar “Las Palmerillas”

Autovía del Mediterráneo, km 419. 04710 El Ejido (Almería). Apdo 250. 04080 Almería.

E-Mail: palmerillas@cajamar.es www.laspalmerillas.cajamar.es

2. METODOLOGÍA

El programa PrHo v 1.0 estima la ETc como el producto de la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente de cultivo (Kc). El programa incluye tres submodelos, el de evapotranspiración de referencia y dos de coeficiente de cultivo.

Submodelo de ETo

Los valores de ETo bajo invernadero se estiman a partir de valores de radiación solar con un modelo de radiación localmente calibrado. Los valores de radiación dentro de invernadero se calculan a partir de datos medidos en exterior y un valor de transmisividad.

Submodelos de Kc

Se desarrollaron dos modelos de Kc que relacionan éste con el desarrollo del cultivo a través de la temperatura, y de esta forma se tiene en cuenta la variabilidad de ciclos de cultivo y fechas de plantación sobre el patrón de Kc. En los cultivos sin poda de formación o deshojados los valores de Kc se estimaron a partir de relaciones lineales con índices de crecimiento del cultivo, como el índice de área foliar del cultivo (IAF), valores a su vez calculados con modelos simples basados en la integral térmica acumulada. En los cultivos con podas de formación y deshojados los Kc fueron estimados a partir de modelos simples que relacionan los valores de Kc con la integral térmica.

Presentación del software

PrHo v 1.0 (Figura 1) permite estimar la ETc de los principales cultivos hortícolas bajo invernadero en tiempo medio (ETc MEDIA) y en tiempo real (ETc REAL). La ETc MEDIA se calcula a partir de valores medios diarios de radiación solar medida fuera de invernadero (1983 a 1999) y temperatura máxima y mínima medidas dentro de invernadero (1988 a 1999) de una base de datos incorporada al programa. El cálculo de la ETc REAL requiere que el usuario introduzca los valores diarios actuales de radiación solar medida fuera de invernadero y temperatura máxima y mínima medidas dentro de invernadero en el módulo de datos climáticos.

El programa permite ajustar el riego a condiciones de cultivo particulares como, encalado, salinidad del agua de riego y coeficiente de uniformidad del sistema de riego.



Figura 1: PrHo, Programa de Riegos para Cultivos Hortícolas bajo Invernadero.

Validación de las estimaciones

Las estimaciones de la ETc REAL y ETc MEDIA del programa PrHo v 1.0 se validaron frente a valores medidos de ETc en los cultivos de melón y pimiento. La ETc dentro de invernadero se midió semanalmente en lisímetro de drenaje mediante balance de agua en un invernadero, ubicado en la Estación Experimental de Cajamar ‘Las Palmerillas’.

El cultivo de melón (*Cucumis melo* L.), tipo piel de sapo, cv. “Categoría” se transplantó cuando las plantas tenían dos hojas verdaderas (10/1/94), con una densidad de 1 planta m⁻², con 2 m entre líneas y 0,5 m entre plantas. La duración del ciclo de cultivo fue de 135 días, finalizándose el cultivo el 25/6/94. El pimiento (*Capsicum annuum* L.), tipo Lamuyo, cv. “Drago” se plantó el 15/9/97 y finalizó el 20/5/98, con una densidad de plantación de 2 plantas m⁻², con 1 m entre líneas y 0,5 m entre plantas.

3. RESULTADOS

La Figura 2 muestra la evolución de los valores medios diarios de la ETc medida y simulada en tiempo real para los cultivos de melón y pimiento. En un ciclo de primavera, como melón, los valores simulados se ajustaron muy bien a la evolución de la ETc medida durante

todo el ciclo de cultivo (Figura 1a). El modelo simuló muy bien la ETc en el período de establecimiento y cobertura completa, e infraestimó ligeramente en el período de rápido desarrollo. También presentó una gran sensibilidad para predecir los valores de ETc inferiores a 1 mm día⁻¹ en la fase de establecimiento.

En pimiento, con un ciclo de otoño-primavera, las estimaciones en tiempo real también mostraron una excelente capacidad de ajuste a la evolución de la ETc medida (Figura 1b), tanto en períodos de baja demanda climática (invierno), como de alta demanda (primavera). Aunque la mayor sobrestimación del modelo se produjo durante el período invernal, pero nunca fue superior a los 0,5 mm d⁻¹.

El programa PrHo estimó correctamente los valores medidos de ETc tanto en tiempo medio como en tiempo real (Tabla 1, r²=0,97), tanto a largo plazo (pendiente de la recta de regresión) como a corto plazo (E.E., EAM).

Tabla 1: Análisis de regresión entre los valores de ETc medidos y simulados en los cultivos de melón y pimiento.

Variable	ETc _{medida} = a + bxETc _{estimada}					ETc _{medida} = bxETc _{estimada}			
	a	b	r ²	E.E.	E.A.M	b	r ²	E.E.	E.A.M
ETc media	0,08	0,91	0,89	0,19	0,19	0,95	0,97	0,25	0,20
ETc real	0,03	0,95	0,90	0,26	0,21	0,97	0,97	0,26	0,21

a ordenada en el origen, *b* coeficiente de regresión, *r*² coeficiente de determinación, *E.E.* error estándar de las estimaciones mm dia⁻¹, *E.A.M.* error absoluto medio en mm dia⁻¹.

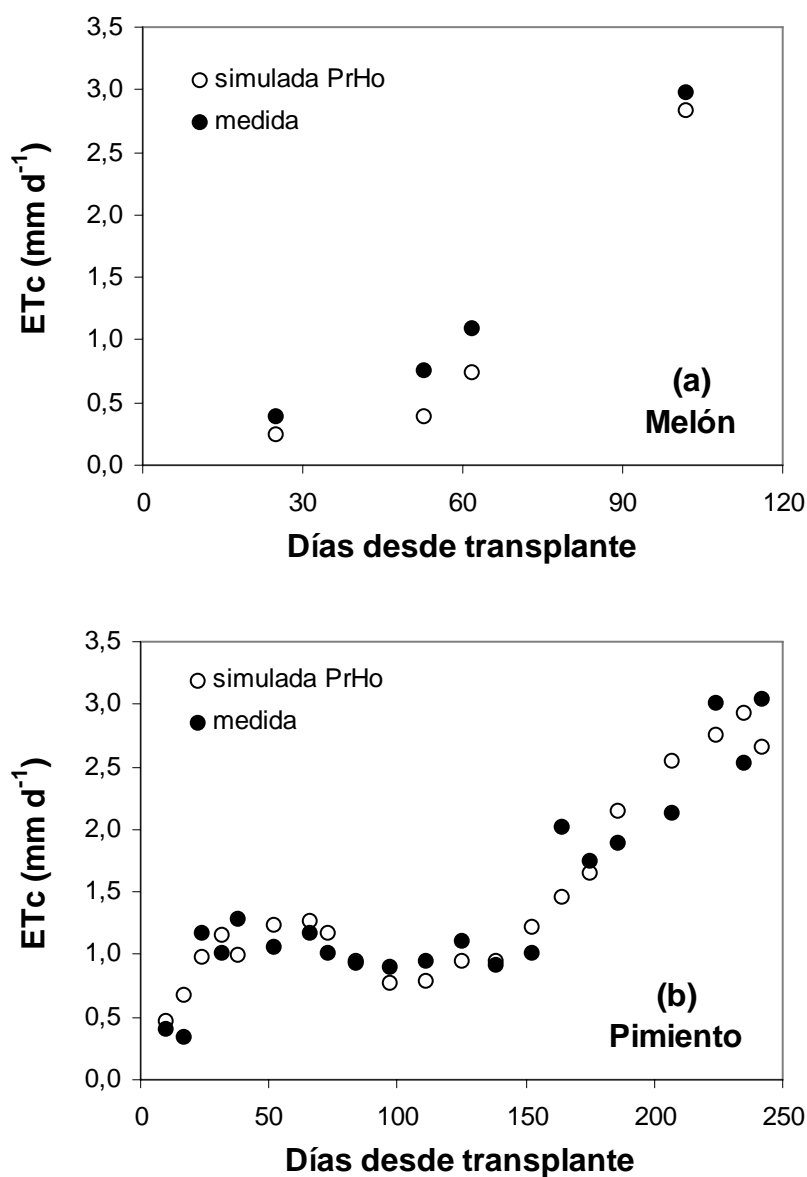


Figura 2: Evolución estacional de los valores de ETc medida y simulada en tiempo real en los cultivos de melón (a) y pimiento (b).

La difusión de los resultados del proyecto se ha realizado a través de varios medios:

- Elaboración de un CD, que incluye el programa PrHo, y su distribución gratuita a personas relacionadas con el sector hortícola.

- El programa PrHo se puede descargar de forma gratuita de la web de la E.E. de Cajamar “Las Palmerillas” (www.laspalmerillas.cajamar.es).

- Difusión a través de medios de comunicación: semanalmente en Localia-TV de El Ejido (Figura 3) y mensualmente en Agricultura 2000 aparecen las recomendaciones de riego para distintas fechas de plantación. Este medio de difusión nos permite llegar a un mayor número de posibles usuarios.

RECOMENDACIONES SEMANALES DE RIEGO: (LITROS/M² DÍA)
CALABACÍN

MES	SEMANA	FECHA DE TRASPLANTE		
NOVIEMBRE	del 15 al 21	1ª quincena septiembre	2ª quincena septiembre	1ª quincena octubre
		1,2	1,2	0,9

RECOMENDACIONES SEMANALES DE RIEGO: (LITROS/M² DÍA)
JUDÍA

MES	SEMANA	FECHA DE TRASPLANTE		
NOVIEMBRE	del 15 al 21	1ª quincena septiembre	2ª quincena septiembre	1ª quincena octubre
		1,5	1,5	0,9

Figura 3: Difusión de recomendaciones semanales de riego a través de Localia-TV El Ejido.

4. CONCLUSIONES

El programa PrHo estimó correctamente los valores medidos de ETc y mostró una excelente capacidad de ajuste a la evolución de la ETc medida, tanto en períodos de baja demanda climática (invierno), como de alta demanda (primavera).

El programa PrHo v 1.0 es una herramienta que puede ayudar a optimizar los aportes de riego a los cultivos hortícolas bajo invernadero, y además es fácilmente utilizable.