

ANEJO 8:

Necesidades Hídricas del Cultivo

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	159
2. PROGRAMA DEL RIEGO	159
3. METODOS BASADOS EN PARAMETROS CLIMATICOS	160
3.1. Modelos para determinar la ETo caso de un invernadero	161
3.1.1. El modelo del tanque evaporímetro clase A	161
3.1.2. El modelo de radiación	162
3.2. Coeficientes de cultivo	163
3.2.1. Valores de Kc en invernadero	163
3.2.2. Variación en la fecha de plantación y su efecto en Kc	164
3.2.3. Método del capítulo del Kc a partir del tiempo térmico	165
4.PROGRAMACION DE LOS RIEGOS EN INVERNADERO BAJO RIEGO LOCALIZADO, BALANCE DE AGUA	166
4.1. Uso programación en tiempo real	168
4.2. Uso de un programa medio o fijo	168
5. NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO	170
5.1. Eficiencia del sistema de riego	170
5.2. Necesidades de lavado de sales	171
6. DISEÑO DE PROYECTO	173
6.1. Programa de cálculo de las necesidades brutas de reigo para el cultivo	173
6.2. Datos del proyecto	173
6.2.1. Estación meteorológica	173
6.2.2. Superficies de invernadero	174
6.2.3. Ciclos de cultivo y fechas de plantación	174
6.2.4. Encalados	175
6.2.4. Características de la instalación de riego necesarias para el cálculo de las necesidades hídricas	175
6.3. Necesidades de riego obtenidas	175
6.3.1. Necesidades de riego netas obtenidas	176
6.3.2. Recapitulación	177
7. BIBLIOGRAFIA	178

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo utiliza la radiación solar, el CO₂ de la atmósfera, agua y nutrientes para producir biomasa (frutos, hojas, tallos y raíces) mediante el proceso de la fotosíntesis. Cuando los estomas de las hojas están abiertos, para permitir la entrada de CO₂, se produce la emisión de agua en forma de vapor desde la planta a la atmósfera mediante el proceso de la **transpiración**. Esta pérdida de agua es un coste que debe pagar el cultivo para producir, y debe ser repuesta por la planta mediante la extracción de agua del suelo por las raíces. Esta cantidad de agua, unida a la que se pierde por **evaporación** desde la superficie del suelo, constituye lo que se conoce como **evapotranspiración** del cultivo (ETc); y debe ser satisfecha mediante riego.

Con el riego se debe aplicar la cantidad justa para cubrir el consumo de agua del cultivo ó ETc. Un exceso de agua de riego supone el lavado de fertilizantes lo que puede acarrear problemas medioambientales por la contaminación de las aguas subterráneas. Además, en suelos pesados es corriente la aparición de problemas de encharcamiento y asfixia radicular. Ciertos cultivos, como el pimiento, son muy sensibles al exceso de agua y en algunos casos puede llegar a producir la muerte de la planta. Una aportación de agua inferior a la ETc puede llegar a provocar déficit hídrico y por tanto una reducción de la producción (Fernández, 2000).

La evapotranspiración ó ETc es un fenómeno que tiene como base el paso de agua del estado líquido a gaseoso, por lo que se requiere una fuente de energía que es proporcionada por la radiación. Además, es necesario que haya una diferencia de presión de vapor (déficit de presión de vapor, DPV) entre la superficie evaporante y el aire que la rodea. El viento actúa mezclando las capas con mayor contenido de agua con otras de menor contenido, evitando de esta forma que las capas próximas a la superficie evaporante se saturen, y por tanto se detenga el proceso de la ETc. Bajo invernadero, el viento no tiene un efecto directo sobre el consumo de agua, pero sí en la ventilación del invernadero. Sin embargo, en la mayoría de los invernaderos de Almería la superficie de ventana es baja, así como las tasas de ventilación (Baeza, 2000). Por tanto, el efecto del viento sobre el consumo de agua de los cultivos puede considerarse casi despreciable. La temperatura no afecta directamente a la ETc, pero sí es un indicador de la cantidad de radiación, de tal modo que en los meses en los cuales la radiación es mayor la temperatura también es más alta.

La temperatura y humedad influyen en el DPV. Humedades altas, próximas a saturación, pueden disminuir la ETc e inhibir la absorción de nutrientes, particularmente el calcio, así como acarrear problemas de enfermedades (Garzoli, 1989).

2. PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

La programación del riego es un conjunto de procedimientos técnicos desarrollados para predecir **cuánto** y **cuándo** regar. Los métodos de programación del riego se basan en:

- 1) Medida del contenido de agua en el suelo.
- 2) Medida del estado hídrico de la planta.

• **3) Medida de parámetros climáticos.**

En este anejo se han calculado las necesidades hídricas en función del apartado 3 anterior ó **medida de parámetros climáticos**. Estos cálculos arrojarán las necesidades diarias del cultivo de tomate en función de los diferentes ciclos, como más adelante se comentará.

3. MÉTODOS BASADOS EN PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Estos métodos se basan en la utilización de parámetros climáticos, que a partir de expresiones matemáticas permiten estimar el volumen de agua consumido por el cultivo. La información que proporcionan los sensores climáticos no puede utilizarse directamente en la gestión del riego y exige que previamente se establezcan relaciones entre el consumo de agua del cultivo, los parámetros climáticos y el estado de desarrollo del cultivo.

El método más utilizado para estimar el consumo de agua de los cultivos o ET_c es el recomendado por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977), en el que la ET_c se calcula como el producto de dos términos:

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

K_c es el coeficiente de cultivo y representa la disponibilidad del cultivo y suelo para atender la demanda evaporativa de la atmósfera, y depende del cultivo en cuestión, su estado de desarrollo y disponibilidad de agua en el suelo. Los valores de K_c deben determinarse experimentalmente.

ET_o es la evapotranspiración de referencia y cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera, y representa la evapotranspiración de una pradera de gramíneas con una altura entre 8 a 10 cm que crece sin limitaciones de agua y nutrientes en el suelo y sin incidencia de plagas y/o enfermedades. La estimación de la ET_o en una determinada zona se realiza a partir de datos climáticos empleando fórmulas empíricas.

En cultivos en suelo, dónde la frecuencia de riego es diaria y el suelo mantiene una reserva de agua, las estimaciones de la ET_c que proporciona la Ecuación 1 son bastante precisas. Sin embargo, en cultivos sin suelo con frecuencias de riego horarias o inferiores se requieren estimaciones de la transpiración mucho más precisas. En invernaderos del norte de Europa, equipados con sistemas de control climático y cultivo sin suelo, se han desarrollado modelos para estimar la transpiración en cultivos de tomate (Stanghellini, 1987; Boulard y Jemaa, 1993) y ornamentales (Bailey et al., 1993; Baille et al., 1994), basados en parámetros climáticos (radiación solar, DPV) y propios del cultivo (índice de área foliar). La aplicación de estos modelos en otras zonas requiere que se contrasten las estimaciones, y en algunos casos será necesario realizar ajustes para adaptarlos a las nuevas condiciones climáticas. Medrano (1999) evaluó y adaptó el modelo desarrollado por Boulard y Jemaa (1993) a un cultivo de pepino en sustrato de perlita e invernadero de plástico en Almería.

La gestión óptima del riego sería aquella en la que se pudiese medir con precisión el consumo de agua del cultivo. Sin embargo, a pesar de los avances en electrónica, tanto los sensores de medida del contenido de agua en el suelo, como los de medida del estado hídrico del cultivo presentan un alto coste y requieren de personal especializado para su mantenimiento. Por ello, su difusión a los agricultores puede verse limitada teniendo en cuenta que el agua de riego tiene un bajo coste en relación a otros insumos agrícolas (aproximadamente el 4 % de los costes de cultivo; Caja Rural de Almería, 1997). Sin embargo, los sensores de medida del estado hídrico del cultivo tienen una doble utilidad en la gestión del clima, por lo que su implantación en invernaderos con cierto grado de tecnificación podría llevarse a cabo en un futuro inmediato. Además, la utilización de estos sensores en la gestión del riego requiere que previamente se haya comprobado su adaptación al sistema de cultivo y elaborado un protocolo y recomendaciones de uso como, número de sensores que se deben instalar, cual es la localización más idónea dentro del invernadero, que sensores se deben utilizar, cuales son los umbrales para la gestión del riego, etc. Por ejemplo, el empleo de sistemas de riego por goteo puede limitar la programación del riego basada en la medida del contenido de agua en suelo. Ya que, la variabilidad espacial de las propiedades físicas del suelo y la distribución de las raíces dificulta la obtención de datos representativos del contenido hídrico del suelo (Hanson et al., 1997).

Por ello, a corto plazo estos sensores no son fáciles de implantar como medida de rutina en la gestión del riego de una mayoría de invernaderos. Por tanto, la programación de riego basada en parámetros climáticos podría ser adoptada más fácilmente por un gran número de agricultores. Aunque, la situación ideal sería aquella en la que se combine esta programación con algún sensor que nos indique la tendencia en el contenido de agua en el suelo o del estado hídrico del cultivo.

3.1 MODELOS PARA DETERMINAR LA ETo. CASO DE UN INVERNADERO

En los últimos años se han desarrollado numerosas expresiones matemáticas o modelos para estimar la ETo a partir de datos climáticos. Suele diferenciarse entre modelos de temperatura, radiación, combinadas, etc., en función de los datos climáticos necesarios. La elección de uno u otro modelo depende de la disponibilidad de datos climáticos y de la precisión de estos modelos en la zona donde se pretenda utilizarlos. Las expresiones combinadas son las más precisas pero requieren datos de temperatura, humedad relativa, radiación y velocidad del viento, los cuales no están disponibles en muchas zonas. A menudo, es preciso aplicar estos modelos en condiciones climáticas y agronómicas muy distintas de aquellas para las que fueron inicialmente desarrolladas. Por tanto, es muy importante evaluar estos modelos, y en algún caso puede ser necesaria la calibración. La evaluación necesita de datos medidos de ETo con los que comparar las estimaciones de los distintos modelos.

3.1.1. EL MODELO DEL TANQUE EVAPORIMÉTRICO CLASE A

El modelo FAO-Tanque resultó la expresión más precisa para estimar la ETo a corto plazo (períodos semanales, Tabla 2 valores de EEE) bajo condiciones de invernadero, aún sin calibración. Sin embargo, su aplicación presenta dos inconvenientes: por un

lado se requieren datos de humedad relativa, velocidad del viento y fetch (distancia a barlovento de la cubierta verde) en el interior del invernadero para poder calcular los valores correspondientes de K_p (coeficiente de Tanque). Por otro lado, el fetch, que está perfectamente definido para condiciones al aire libre (Doorenbos y Pruitt, 1977), es mucho más difícil de definir para condiciones de invernadero, donde las paredes del mismo suponen un aislamiento del exterior.

Por ello, se calibró esta expresión para condiciones bajo invernadero en Almería. El valor de K_p fue constante para toda la estación ($K_p=0,79$) debido a la escasa variabilidad estacional de la humedad relativa y velocidad del viento en el interior del invernadero.

3.1.2. EL MODELO DE RADIACIÓN

La transpiración de un cultivo bajo invernadero en Almería está estrechamente asociada a la radiación solar. Por ello, el modelo de FAO-Radiación mostró una alta precisión en nuestras condiciones de cultivo. Sin embargo, este modelo requiere datos medidos dentro de invernadero de temperatura y radiación solar. Una simplificación consistiría en ajustar una relación lineal del tipo $ET_o = b \times R_s$, sin embargo, el valor del coeficiente b varía a lo largo del año (Fernández, 1993). La Figura 6 muestra la evolución estacional de la ET_o y radiación solar medidas bajo invernadero en Almería. Como se puede observar, la evolución de la ET_o fue similar a la evolución de la radiación solar, pero la relación entre ambas varió a lo largo del año y estuvo relacionado con la evolución estacional de la temperatura. Por ello, se estableció una relación lineal entre la ET_o y la radiación solar con el día del año, eliminando así el efecto de la temperatura y simplificando de esta forma el modelo FAO-Radiación (Orgaz, comunicación personal). El modelo propuesto es:

- Si $DDA < 220$

$$ET_o = (0,288 + 0,0019 \times DDA) \times R_{s_{inv}}$$

- Si $DDA > 220$

$$ET_o = (1,339 - 0,00288 \times DDA) \times R_{s_{inv}}$$

donde, DDA es el día del año, siendo el 1 de enero el día 1 y el 31 de diciembre el día 365, $R_{s_{inv}}$ es la radiación solar dentro de invernadero expresada en mm día⁻¹. En caso de no disponer de sensor de radiación, los valores de radiación dentro de invernadero pueden estimarse a partir de datos medidos en exterior y un valor de transmisividad, que es función del material de cubierta, tipo de cubierta, enclado, etc.

$$R_{s_{inv}} = R_{s_{ext}} * \tau$$

donde, $R_{s_{ext}}$ es la radiación solar medida en exterior y τ es la transmisividad de la cubierta.

Este modelo presenta la ventaja sobre el modelo del Tanque, de su adaptación a cualquier tipo de invernaderos y condiciones de cultivo. Dado que la mayoría de los invernaderos no dispone de sensores climáticos, con este modelo es posible utilizar datos de radiación exterior medidos en estaciones meteorológicas próximas, ya que para una misma latitud la radiación que recibe una región es similar (Allen et al., 1998).

3.2. COEFICIENTES DE CULTIVO

El coeficiente de cultivo (K_c) integra los efectos de tres características primarias que diferencian un cultivo de una pradera de gramíneas: altura de cultivo, resistencia y albedo de la superficie suelo-cultivo (Jensen et al., 1990). Es decir, los valores de K_c dependen, sobre todo, del cultivo y su manejo. Los valores de K_c han sido determinados para numerosos cultivos herbáceos al aire libre (Doorenbos y Pruitt, 1977; Pruitt et al., 1987; Wright, 1982; Grattan et al., 1998). Sin embargo, en cultivos hortícolas bajo invernadero de plástico, el manejo (deshojado, destallado, entutorado, altura del cultivo, densidad de plantación, etc.) es muy distinto al realizado en los mismos cultivos al aire libre. Por tanto, para conocer con precisión las necesidades hídricas de los cultivos hortícolas bajo invernadero del litoral almeriense, es necesario conocer los valores de K_c en nuestras condiciones de cultivo.

3.2.1. VALORES DE K_c EN INVERNADERO

En la E.E. “Las Palmerillas” de Cajamar se han determinado experimentalmente mediante lisímetro de drenaje los coeficientes de cultivo de judía de enrame, melón de porte rastro, tomate, pimiento, calabacín, sandía, pepino, berenjena y melón entutorado.

Los valores de K_c a lo largo del ciclo de cultivo se determinaron como:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Se obtuvieron valores y patrones de K_c distintos entre grupos de cultivo.

Así, los cultivos de porte bajo mostraron valores de K_c máximo inferiores a los cultivos de porte alto y los cultivos cuyo ciclo abarca desde verano a primavera mostraron un patrón singular de K_c , con una caída en los valores de K_c en el período invernal.

• Cultivos de porte alto

Los cultivos de porte alto (judía, pimiento, pepino, tomate, berenjena y melón entutorado) mostraron valores de K_c mayores que los cultivos de porte bajo. Los valores iniciales de K_c aumentaron rápidamente con el crecimiento del cultivo. Una vez alcanzada cobertura completa, el valor de K_c alcanzó su valor máximo promedio de 1,4

en judía y 1,3 en melón entutorado. En melón entutorado, podas de formación importantes realizadas a los 55 y 71 ddt hicieron descender los valores de Kc máximo

• Cultivos de ciclo largo

En este grupo estarían los cultivos que se transplantan en verano y su ciclo se prolonga hasta primavera, como son tomate, berenjena y pimiento tardío. El Kc aumentó desde el valor inicial de 0,2 hasta un máximo de 1,4, aproximadamente 90 ddt, debido al rápido crecimiento del cultivo. Con el descenso de la temperatura en los meses de invierno, el Kc descendió a partir de mediados de enero hasta valores próximos a 0,9. Esta caída estuvo asociada a una parada del crecimiento y al envejecimiento fisiológico de las hojas existentes por bajas temperaturas. A partir de marzo, el aumento de las temperaturas dentro de invernadero (Figura 9 b) favoreció un nuevo crecimiento de hojas jóvenes (rebrote), que provocaron que los valores de Kc se mantuviesen en 0,9 hasta el final del ciclo.

CULTIVO	Kc _{min}	Kc _{max}
Melón rastrero	0,2	1,1
Calabacín	0,2	1,1
Sandía	0,2	1,1
Judía	0,2	1,4
Tomate	0,2	1,6
Pimiento	0,2	1,4
Melón entutorado	0,2	1,3
Pepino	0,2	1,2
Berenjena	0,2	1,2

TABLA A) Variación de los Kc obtenidos experimentalmente bajo invernadero. (EE LAS PALMERILLAS)

3.2.2. VARIACIÓN EN LA FECHA DE PLANTACIÓN Y SU EFECTO EN Kc

Con el crecimiento del cultivo se produce un aumento de la superficie foliar, provocando que el Kc incremente durante este período desde valores bajos, entorno a 0,2, hasta su valor máximo cuando el cultivo alcanza cobertura completa. La tasa de desarrollo de un cultivo y el tiempo transcurrido entre plantación y cobertura completa depende de las condiciones climáticas, y en particular de la temperatura, y de la fecha de plantación (Allen et al., 1998). Así, cuando se cambia de fecha de siembra o plantación las condiciones climáticas también cambian, afectando al patrón de crecimiento y desarrollo del cultivo, lo que a su vez, tendrá repercusión sobre el patrón de Kc. Resumiendo, el patrón de Kc de los cultivos hortícolas bajo invernadero depende

de la temperatura, por lo que es necesario relacionar los valores de K_c con el desarrollo y crecimiento del cultivo.

3.2.3. MÉTODO DE CÁLCULO DEL K_c A PARTIR DEL TIEMPO TÉRMICO

Para abordar el problema del efecto de la fecha de plantación sobre el patrón de K_c se han desarrollado dos modelos que relacionan el K_c con el desarrollo del cultivo a través de la temperatura.

3.2.3.1. Modelo K_c -IAF

Para los cultivos que se manejan sin podas de formación o deshojados, como judía, melón rastrero, sandía, melón entutorado y calabacín, se desarrolló un modelo para estimar el K_c a partir del desarrollo del cultivo. Se consideró que los valores de K_c incrementan linealmente con el desarrollo del cultivo hasta que éste alcanza cobertura completa (índice de área foliar, IAF=3). Una vez alcanzada cobertura completa el valor de K_c se mantiene en su valor máximo hasta el final del ciclo. La fecha de plantación, los efectos de la temperatura en el desarrollo del cultivo y densidad de plantación se incorporan en el cálculo del K_c a través del IAF.

$$Kc_t = Kc_{min} + \frac{(Kc_{max} - Kc_{min})}{3} * IAF_t \quad (IAF_t < 3,0)$$

$$Kc_t = Kc_{max} \quad (IAF_t \geq 3,0)$$

donde, K_{cmin} K_{cmax} son los valores de K_c mínimos y máximos, respectivamente, obtenidos experimentalmente en la E.E. 'Las Palmerillas' de Cajamar (Tabla A), e IAF_t es el índice de área foliar estimado. Los valores diarios de IAF en cobertura parcial ($IAF < 3,0$) se estiman en función de datos diarios de temperatura máxima y mínima según el modelo propuesto por Ritchie y Johnson (1990).

$$A_t = A_o e^{-be^{-kTTA}}$$

Este modelo se basa en la constancia de la relación entre la tasa de aparición de hojas y el tiempo térmico, y la dependencia del área foliar del número de hojas emergidas. El área foliar por planta (A_t) se calcula en función del tiempo térmico acumulado (TTA) desde emergencia o transplante utilizando una función Gompertz (Ritchie y Johnson, 1990). Donde, A_t representa el área foliar (cm^2 planta⁻¹) el día t , A_o (cm^2 planta⁻¹) es el área foliar máxima por planta, TTA es el tiempo térmico acumulado, que se obtiene a partir de valores de temperatura máxima y mínima, b y k son parámetros empíricos que deben ajustarse para cada especie linealizando la Ecuación de A_t . No es necesario fijar los parámetros b y k para cada cultivar de una especie, ya que los errores que se puedan cometer son siempre relativamente pequeños en valores de IAF bajos. Los valores de A_o deben elegirse suficientemente elevados para mejorar las estimaciones para valores

de IAF inferiores a 3, que son los que interesan, ya que la ETc depende del IAF para ese rango de valores.

Los valores diarios de IAF_t se obtienen:

$$IAF_t = \frac{A_t * DP}{10.000}$$

Donde, IAF_t es el índice de área foliar el día t, A_t es el área foliar estimada por planta el día t (cm²) y DP es la densidad de plantación (plantas m⁻²).

3.2.3.2. Modelo Kc-Tiempo térmico

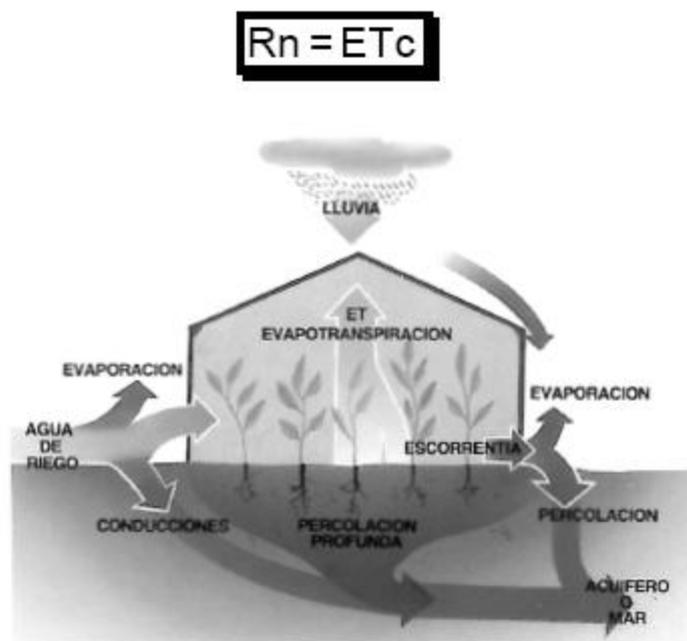
En los cultivos con podas de formación frecuentes, deshojados y destallados, como pimiento, tomate, berenjena y pepino, se estableció una relación empírica entre el Kc y el tiempo térmico, que es función de la temperatura. La base para establecer esta relación fue la dependencia de la evolución del Kc, hasta alcanzar cobertura completa, con el desarrollo del cultivo, y éste con la temperatura. En todos los casos, se consideró que el Kc aumentaba linealmente con el tiempo térmico desde un valor inicial de Kc de 0,2 hasta el valor máximo de Kc.

4. PROGRAMACIÓN DE LOS RIEGOS EN INVERNADERO BAJO RIEGO LOCALIZADO. EL BALANCE DE AGUA.

Las técnicas de programación de riegos permiten decidir cuándo regar y cuánta agua aplicar para cubrir las necesidades de los cultivos, y su importancia se pone de manifiesto cuando el agua es un recurso escaso y su coste es elevado.

Ante la certeza de obtener una disminución en la producción con un riego deficitario y unido a la falta de información sobre las necesidades de agua de los cultivos, esto puede conducir a aplicar riegos excedentarios. Pero el regar en exceso puede conducir a problemas de asfixia radicular, condición que reduce la producción y aumenta los costes de agua y fertilizantes (Jensen y Robb, 1970), y a procesos de contaminación de las aguas subterráneas.

Las técnicas de programación del riego basadas en el balance de agua son las más extendidas en riego por surco y aspersión (Jensen y Robb, 1970). Este método considera que la zona enraizada es un depósito de agua donde se almacena el agua de riego y lluvia para ser usada por el cultivo. Se sigue una contabilidad de pérdidas (ET del cultivo) y ganancias (riegos y lluvia) de modo que en todo momento puede conocerse el agua que queda en el suelo a disposición del cultivo, y el riego se aplica cuando la humedad del suelo baja por debajo de un cierto nivel.



En el balance de agua en parcela el caudal total destinado para riego va a sufrir una serie de pérdidas a nivel de finca o parcela durante y tras la aplicación del riego. En el transporte del agua hasta la parcela se producen pérdidas por evaporación, si es una canalización abierta, y por fugas de la conducción. Estas pérdidas pueden ser minimizadas mediante una conservación adecuada pero, en cualquier caso, son difíciles de eliminar. Una vez que el agua llega a la parcela ésta sufre otra serie de pérdidas (percolación, escorrentía y evapotranspiración) y ganancias (lluvia). El balance de agua en la parcela queda definido por la siguiente expresión:

$$\mathbf{Rn + P = ETc + D + E \pm \Delta H}$$

donde, Rn es la dosis de riego neto, P es la precipitación, ETc es la evapotranspiración del cultivo, D es la percolación o drenaje, E es la escorrentía y ΔH es la variación en el contenido de agua en el suelo entre dos riegos.

El agua de lluvia que entra en invernadero por las perforaciones del plástico tiene una distribución irregular y concentrada justo debajo de éstas, por lo que es de difícil cuantificación y específica de cada invernadero. Por tanto, a efectos de programación del riego no se considera la precipitación en el balance de agua. Las pérdidas que se producen por escorrentía también suelen ser nulas al emplearse sistemas de riego por goteo, y un correcto manejo permitirá evitar las pérdidas por percolación profunda o drenaje. Por tanto, la Ecuación anterior queda:

$$\mathbf{Rn = ETc \pm \Delta H}$$

El agua de riego (R_n) es almacenada en el suelo (ΔH) para que sea utilizada por el cultivo (ET_c). El agua almacenada en el suelo puede sufrir variaciones por la diferencia entre la cantidad de agua añadida y el agua consumida por el cultivo. Si las ganancias exceden a las pérdidas la variación de humedad es positiva, y se produce la acumulación de agua en el suelo. En cambio, cuando las pérdidas exceden a las ganancias la variación de humedad es negativa, y el cultivo extrae agua del suelo para cubrir sus necesidades de agua. Cuando se utilizan sistemas de riego por goteo, dada la elevada frecuencia de riegos se suele ignorar el papel del suelo como almacén de agua, y se considera que el contenido de agua en el suelo no varía con el tiempo. Por tanto, bajo invernadero la programación del riego se simplifica, ya que no hay que preocuparse por determinar el momento del riego y el proceso de programación se enfoca hacia cuánta agua hay que aplicar basándose en estimaciones de la ET_c (Fererres, 1996).

La programación de riegos puede hacerse en tiempo real o tiempo medio, según los datos climáticos que se empleen para estimar la ET_c (Jensen y Wright, 1978).

4.1. PROGRAMACIÓN EN TIEMPO REAL

En la programación en tiempo real las estimaciones de la ET_c se realizan a partir de los datos climáticos obtenidos el día anterior, y de la situación concreta del cultivo en ese momento. En este tipo de programación se necesitan buenas estimaciones diarias de la ET_c (ET_{cr}).

Bajo condiciones de invernadero en Almería, las estimaciones diarias de la ET_o se pueden obtener a partir de los datos diarios de E_o medidos dentro de invernadero o de radiación solar. Los valores diarios de K_c se estiman a partir de datos de temperatura máxima y mínima del día anterior mediante los modelos descritos anteriormente.

Esta programación se adapta a una programación individual, para cada agricultor y puede llevarla a cabo si dispone de los datos climáticos necesarios, que pueden proceder de su invernadero o bien de alguna estación agrometeorológica bajo invernadero próxima. Esto obligaría al agricultor a disponer de sensores climáticos o algún sistema de comunicación con la estación agrometeorológica.

4.2. USO DE UN PROGRAMA MEDIO O FIJO

A pesar de la mayor precisión de un programa en tiempo real, el bajo coste del agua de riego dificulta que los agricultores adopten programas de riego complejos que requieran mucha información y tecnología. Por este hecho, un programa de riego medio puede ser más apropiado, al menos en las etapas iniciales (Fererres, 1996). En etapas posteriores, el esfuerzo podría centrarse en aumentar la precisión de estos programas medios y encontrar un indicador ideal que permita automatizar la programación del riego (Fererres, 1996 a). La aplicación de este tipo de programación requiere que la ET_o presente escasa variación interanual y que las precipitaciones sean muy escasas (Fererres et al., 1981; Hanson, 1996).

4.2.1. Variabilidad interanual de la ETo dentro de invernadero

La ETo en los invernaderos de Almería tiene una escasa variabilidad interanual, ya que las variaciones climáticas de año a año dentro de invernadero quedan amortiguadas por la cubierta de plástico, por lo que a priori parece factible el uso de programas de riego medios.

4.2.2. Programación en tiempo medio o fijo.

En la programación en tiempo medio la ETc (ETcm) se estima a partir de datos climáticos medios y valores estándar de desarrollo del cultivo. Esta programación es de fácil uso, el agricultor no requiere el asesoramiento técnico y son fáciles de difundir (Hill y Allen, 1996), por lo que podría ser fácilmente adoptado por la mayoría de los agricultores. Además, este tipo de programación permite prever anticipadamente los volúmenes a emplear durante toda la campaña.

4.2.3. Encalado

El encalado es una técnica habitual en la zona en determinadas épocas del año, cuya finalidad es reducir la temperatura dentro del invernadero. El encalado del plástico produce una reducción de la radiación solar, y por tanto, una reducción del consumo de agua proporcional.

En Almería, con la cubierta del invernadero encalada (dosis empleada: 25 Kg de cal por 100 litros de agua) se ha medido una reducción de la radiación solar en torno al 30 % (datos propios) respecto a un invernadero no encalado. Sin embargo, este valor puede variar en función de la cantidad de producto usada y del aplicador.

4.2.4. Consideraciones a tener en cuenta en el uso del programa en tiempo medio.

Las estimaciones de la ETc en tiempo medio (ETcm) es una información precisa sobre el consumo real de agua de los cultivos bajo invernadero, sin embargo su manejo requiere tener en cuenta una serie de recomendaciones:

- La ETcm se ha calculado con medias de datos climáticos de varios años, por lo que el consumo de agua puede variar ligeramente de año a año.
- La radiación dentro de invernadero se ha estimado a partir de valores de radiación solar medida en exterior y un valor medio de transmisividad. Este valor de transmisividad se ha obtenido como el cociente entre la radiación medida dentro de un invernadero simétrico (aproximadamente 10° de pendiente de la cubierta) y la radiación medida fuera de invernadero durante 9 años. Sin embargo, la transmisividad varía con la inclinación solar, ángulo de la cubierta, envejecimiento y suciedad del material plástico. La pendiente de la cubierta del invernadero tiene mayor influencia en la transmisividad de la radiación solar en los meses de invierno, mientras que en verano y primavera está disminuye (Mallatana y Montero, 1995).

- Las estimaciones ET_{cm} y ET_{cr} son consumos óptimos del cultivo, por lo que no se tiene en cuenta manejos específicos del cultivo en determinadas fases como, la reducción del riego para incrementar el contenido de azúcar del fruto en melón y sandía, aumentar el enraizamiento del cultivo, regular el crecimiento vegetativo, etc.

5. NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO

Las dosis de riego calculadas a partir de ET_{cm} y ET_{cr} son dosis netas, por lo que hay que tener en cuenta la falta de uniformidad del sistema de riego y las necesidades de lavado para el cálculo de la dosis bruta de riego.

5.1. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO

Debido a varias causas los emisores de una instalación de riego por goteo arrojan caudales que no son exactamente iguales entre sí, lo que ocasiona que los cultivos reciban dosis de riego diferentes. El coeficiente de uniformidad (CU) nos permite medir la uniformidad del sistema de riego, y se define como el cociente entre el caudal medio descargado por los emisores de más bajo caudal y el caudal medio de todos los emisores. En los sistemas de riego por goteo es necesario contar con coeficientes de uniformidad superiores al 90 %, al estar el volumen radicular más concentrado en las zonas húmedas y trabajar con bajas tensiones de humedad del suelo.

El CU puede disminuir de forma considerable con el uso continuado de la instalación, por tanto, se deberían evaluar todos los años las instalaciones de riego por goteo, y en función del CU calcular las necesidades brutas de riego. Por tanto, las dosis brutas de riego (R_b) teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego se calculan:

$$R_b = \frac{ET_c}{CU}; R_b = ET_c * f$$

Valores del factor de mayoración (f) en función del coeficiente de uniformidad de la instalación de riego por goteo.

CU	f
100	1,00
95	1,05
90	1,11
85	1,18
80	1,25
75	1,33

5.2. NECESIDADES DE LAVADO DE SALES

El agua de buena calidad tiene el potencial para permitir la máxima producción si se siguen prácticas acertadas en su manejo. Un agua de mala calidad causará problemas relacionados con el suelo y con el cultivo, provocando la reducción de rendimiento, a menos que se adopten prácticas de cultivo especiales como el lavado de sales. Un alto contenido de sales disueltas en el suelo disminuye el potencial osmótico y exige a las raíces un esfuerzo adicional para absorber agua. Esta toma reducida de agua por parte de la planta puede dar como resultado un crecimiento reducido o lento, y la reducción de la producción.

Una vez que la cantidad de sales acumuladas en el suelo sobrepasa un valor umbral, que depende del cultivo, la producción desciende linealmente con el aumento de sales en el suelo (Ayers y Westcot, 1976).

La planta toma la mayor parte del agua de la parte más superficial del suelo, por tanto es de gran importancia evitar la acumulación excesiva de sales en esta zona. Para disolver y separar las sales se deberá aplicar una cantidad de agua adecuada que permita la infiltración a través de la totalidad del sistema radicular. A esta cantidad de agua se la denomina **fracción de lavado (FL)**, y se define como la fracción del agua que penetra en el suelo y sobrepasa el sistema de raíces.

$$FL = \frac{CEi}{2 * (MaxCEe)}$$

donde, CEi es la conductividad del agua de riego y MaxCEe es la mínima conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que reducirá la cosecha a cero. En la Tabla siguiente se dan para los cultivos hortícolas los valores de la máxima CEi que tolera cada cultivo sin que se reduzcan los rendimientos y de MaxCEe.

CULTIVO	MaxCEe (dS/m)	CEi (dS/m)
Judía	6,5	0,7
Melón	16,0	1,5
Tomate	12,5	1,7
Pimiento	8,5	1,0
Pepino	10,0	1,7

Tabla 8: Valores de la mínima conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo que reducen la cosecha a cero (MaxCEe) y valores de la máxima conductividad del agua de riego (CEi) que toleran cada cultivo sin que se reduzcan los rendimientos

Las dosis brutas de riego, teniendo en cuenta las necesidades de lavado, se calculan mediante la siguiente expresión:

$$R_b = \frac{ET_c}{1-FL}; R_b = ET_c * f'$$

donde, f' es el factor de mayoración en función de la fracción de lavado según la conductividad eléctrica del agua de riego. En la Tabla siguiente, se dan los valores del factor de mayoración f' para aguas de riego con distinta CE. Teniendo en cuenta la uniformidad del sistema de riego y las necesidades de lavado de sales, las dosis brutas de riego se determinarían:

$$R_b = R_n \times f \times f'$$

Estas dosis brutas de riego asegurarían el control de sales en toda la superficie regada, pero aumentaría mucho las pérdidas medias por drenaje. Por tanto, se propone que se calcule R_b como el producto de R_n y el mayor de los valores de f ó f' .

Cei (dS/m)	Judía	Pimiento	Pepino	Tomate	Melón
0,5	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02
1	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03
1,5	1,13	1,10	1,08	1,06	1,05
2	1,18	1,13	1,11	1,09	1,07
2,5	1,24	1,17	1,14	1,11	1,08
3	1,30	1,21	1,18	1,14	1,10
3,5	1,37	1,26	1,21	1,16	1,12
4	1,44	1,31	1,25	1,19	1,14
4,5	1,53	1,36	1,29	1,22	1,16
5	1,63	1,42	1,33	1,25	1,19

Valores del factor de mayoración (f') según la conductividad eléctrica del agua de riego (CEi).

6. DISEÑO DE PROYECTO.

6.1 PROGRAMA DE CÁLCULO DE LAS NECESIDADES BRUTAS DE RIEGO PARA EL CULTIVO.

En la E.E. “Las Palmerillas” de Cajamar se han elaborado programas de riego medios para los principales cultivos hortícolas bajo invernadero en Almería, en concreto el nominado **PrHO 2.0** a partir de valores medios diarios de radiación solar y temperatura máxima y mínima. Con este programa y según los datos de proyecto se podrán estimar las necesidades de agua del cultivo de la explotación en tiempo medio (ET_{cm}.)

La radiación solar dentro de invernadero se ha estimado a partir de los datos de radiación solar en exterior y la transmisividad media de la cubierta del invernadero para cada período. La determinación de la curva de K_c para cada cultivo y su ajuste a cada fecha de siembra o plantación se realizó, según los procedimientos descritos anteriormente, a partir de datos diarios medios de temperatura máxima y mínima medidos durante 12 años (1988-1999) en un invernadero sembrado de gramíneas perennes.

La precisión de los programas de riego en tiempo real (ET_{cr}) y en tiempo medio (ET_{cm}) se comprobó comparando los valores de ET_c simulados con los medidos en un cultivo de pimiento. En ambos casos, se observa que las estimaciones mostraron una excelente capacidad de ajuste a la evolución de los valores medidos de ET_c, tanto para valores pequeños (0,5 mm d⁻¹) al inicio del desarrollo, como para los valores más altos (3,0 mm d⁻¹) al final del ciclo. A pesar de las pequeñas diferencias que se observan entre los valores de ET_c medidos y estimados, hay que tener en cuenta que el sustrato almacena agua y que está puede ser extraída por el cultivo para compensar o amortiguar estas diferencias.

6.2 DATOS DE PROYECTO.

6.2.1 ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Estación experimental de la fundación Cajamar, en “Las Palmerillas” El Ejido.

Todos los datos excepto los de evaporación y otros parámetros que se indican a continuación, son medias de valores recogidos cada dos segundos en una estación automática. Los distintos parámetros se han medido con los siguientes aparatos:

Temperatura del aire y humedad relativa: aspirósicrómetro ventilado a una velocidad de 4,5 m. s⁻¹ instalado a una altura de 1,5 m y sensores Pt-100. En su defecto se utiliza un termohigrógrafo con mecanismo de reloj de tambor mecánico con cuerda manual, con un alcance de medida de -20 a +40°C en temperatura y de 0 a 100% en humedad relativa.

Radiación solar: piranómetro con un rango espectral de 0,3 - 3 μm y un rango de medida máximo de 1300 W.m^{-2} , situado a una altura de 1,5 m.

Radiación P.A.R.: sensor quantum con célula de silicio, siendo el rango espectral de 0,4-0,7 μm , situado a una altura de 1,5 m.

Evaporación: tanque clase-A y tornillo de precisión.

Precipitación: pluviómetro y probeta graduada de 10 mm y divisiones de 0,1 mm de precisión

Viento: Transmisor de viento combinado. El sensor de velocidad tiene un rango de medida de $0,3\text{-}40 \text{ m.s}^{-1}$ y una velocidad de arranque de $0,3 \text{ m.s}^{-1}$. El sensor de dirección tiene un rango de medida de $0\text{-}360^\circ$ y una resolución de $2,5^\circ$. Ambos sensores están instalados a 2 m de altura.

6.2.2 SUPERFICIES DE INERNADERO.

Sectores	Dimensiones (m^2)
1	1104,5
2	1104,5
3	1104,5
4	1104,5
5	1104,5
6	1104,5
7	1081
8	1081
9	1081
10	1081
11	1104,5
12	1104,5
13	1104,5
14	1104,5
15	1104,5
16	1104,5

6.2.3 CICLOS DE CULTIVO Y FECHAS DE PLANTACIÓN

Como ya se explicó con profusión en el anejo de cultivo, el objetivo de producción de esta explotación, es la de la producción de pimiento durante todo el año, para ello se realizara un ciclo largo, ya que solo se ha decidido poner un tipo de cultivo. El cultivo se trasplantará el 1 de Mayo tras haber estado 45 días en el semillero, el periodo de crecimiento será de tres meses, del 1 de Mayo al 1 de Agosto. Seguidamente se llevara a cabo la recolección del producto hasta finales de Febrero. Una vez terminado el ciclo se arrancara el cultivo para proceder a la limpieza y desinfección.

Ciclo largo:

<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGOS</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
<i>R</i>	<i>R</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>C</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>

L: Limpieza y desinfección

C: Periodo de crecimiento

R: Periodo de recolección

6.2.4 ENCALADOS.

La dosis de encalado será en todos los casos de **25 Kg/100 l** de agua, y ésta se repetirá siempre que se estime necesario si por causas de lluvias o vientos es eliminada de la cubierta del invernadero.

Se realizará un único encalado, el día 01/05 para disminuir la radiación y por tanto la temperatura del interior del invernadero, no siendo indispensable otro ya que este se eliminará cuando comience el Otoño. Pasado los tres meses de crecimiento se procederá

6.2.5 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE RIEGO.

<i>CE</i>	<i>Conductividad Eléctrica (dS/m)</i>	<i>0.57</i>
pH		7.53

La CE de riego es de 0.57 dS/ m.

6.2.6 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DE RIEGO NECESARIAS PARA EL CÁLCULO DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS.

Distancia entre ramales portagoteros (m)	1
<i>Distancia entre goteros (m)</i>	0.5
<i>Caudal nominal del gotero (l/h)</i>	3.0
<i>Coefficiente de uniformidad C.U. (%)</i>	90

6.3 NECESIDADES DE RIEGO OBTENIDAS.

Mediante el uso del programa **PrHO 2.0** de la E.E. de Las Palmerillas (Almería), y en base a los parámetros de cálculo y datos de proyecto antes reseñados los valores de dosis neta de riego son los siguientes:

6.3.1 NECESIDADES DE RIEGO NETAS OBTENIDAS

PIMIENTO		FECHAS DE TRANSPLANTE				
		2ª quincena Mayo	1ª quincena Junio	2ª quincena Junio	1ª quincena Julio	2ª quincena Julio
MES	SEMANA					
MAYO	del 16 al 23	0,76				
	del 24 al 31	0,83				
JUNIO	del 1 al 7	0,98	0,79			
	del 8 al 15	1,15	0,75			
	del 16 al 23	1,54	1,18	0,70		
	del 24 al 31	1,76	1,78	0,70		
JULIO	del 1 al 7	1,33	1,33	1,34	0,69	
	del 8 al 15	1,97	1,97	1,85	0,64	
	del 16 al 22	2,59	2,59	2,22	0,93	0,57
	del 23 al 30	2,99	2,99	2,41	1,27	0,50
AGOSTO	del 1 al 7	3,14	3,14	2,60	1,57	0,73
	del 8 al 15	2,26	2,26	2,26	1,64	0,93
	del 16 al 23	1,41	1,41	1,41	1,78	1,13
	del 24 al 31	1,09	1,09	1,09	1,79	1,23
SEPTIEMBRE	del 1 al 7	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
	del 8 al 15	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	del 16 al 22	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56
	del 23 al 30	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71
OCTUBRE	del 1 al 7	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
	del 8 al 15	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
	del 16 al 23	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
	del 24 al 31	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
NOVIEMBRE	del 1 al 7	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	del 8 al 15	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
	del 16 al 23	1,74	1,74	1,74	1,74	1,74
	del 24 al 31	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
DICIEMBRE	del 1 al 7	1,02	1,02	1,02	1,02	0,99
	del 8 al 14	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	del 15 al 21	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
	del 22 al 28	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
ENERO	del 1 al 7	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	del 8 al 15	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
	del 16 al 23	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
	del 24 al 31	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
FEBRERO	del 1 al 7	1,79	1,79	1,79	1,70	1,22
	del 8 al 15	1,61	1,61	1,61	1,61	1,23
	del 16 al 22	1,48	1,48	1,48	1,48	1,26

	del 23 al 30	1,23	1,23	1,23	1,23	1,12
--	--------------	------	------	------	------	------

Consumos medios (litros/m² día).

El valor máximo de Dosis de Riego (DR) se corresponde con el mes más desfavorable de Julio con una demanda máxima que equivale a 1.193,8 m³.

6.3.2 RECAPITULACIÓN

BALSA: 1.193,8 m³

7. BIBLIOGRAFÍA.

- ALLEN R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES, M. SMITH. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56.
- AYERS R. S., D. W. WESTCOT. 1976. Calidad del agua para la agricultura. FAO Riego y Drenaje, n° 29.
- BAILEY B.J., J.I. MONTERO, C. BIEL, D.J. WILKINSON, A. ANTON, O. JOLLIET. 1993. Evapotranspiration of *Ficus benjamina*: comparison measurements with predictions of the Penman-Monteith model and simplified version. *Agric. And Forest Meteor.* 65: 229-243.
- BAILLE A. 1988. La climatisation des serres en période estivale. INRA. Seminaire AGROUETP.
- BAILLE M., A. BAILLE, JC. LAURY. 1994. A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. Climate factors and leaf area. *Scientia Horticulturae*, 59(3-4): 217-232.
- BOULARD T., R. JEMAA. 1993. Greenhouse tomato crop transpiration model application to irrigation control. *Acta Horticulturae*, 335: 381-387.
- CAJA RURAL DE ALMERIA. 1997. Gestión del regadío en el Campo de Dalías: las comunidades de regantes Sol y Arena y Sol-Poniente. 195 pp.
- DOORENBOS J., W.O. PRUITT. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje, n°24.
- FERERES E., R.E. GOLDFIEN, W.O. PRUITT, D.W. HENDERSON, R.M. HAGAN. 1981. Assisted Irrigation Scheduling. En *Irrigation Scheduling for Water and Energy Conservation in the 80's*. Amer. Soc. Agric. Engr. Publ. 20-81, pp. 202-207.
- FERERES E. 1996. Irrigation scheduling of horticultural crops. *Acta Horticulturae* 449: 253-258.
- FERERES E. 1996 a. Irrigation scheduling and its impact on the 21st century. *Proceedings of the International Evapotranspiration and irrigation scheduling Conference*, ASAE: 547-553. San Antonio (Texas).
- FERNANDEZ Mª D. 1993. Calibración y evaluación de métodos para la determinación de la evapotranspiración de referencia bajo condiciones de invernadero tipo parral de Almería. Trabajo profesional fin de carrera. Universidad de Córdoba.
- FERNANDEZ M.D., F. ORGAZ, J. LOPEZ-GALVEZ. 1995. La demanda evaporativa en el invernadero parral. I Simposium iberoamericano sobre aplicación de los plásticos en las tecnologías agrarias. *Actas*: 231-

241. El Ejido, Almería.

FERNANDEZ M^a D. 2000. Necesidades hídricas y programación de riegos en los cultivos hortícolas en invernadero y suelo enarenado de Almería. Tesis doctoral. Universidad de Almería.

GARZOLI K.V. 1989. Energy efficient greenhouses. *Acta Horticulturae* 245: 53-62.

GOLDHAMER D.A., M. SOLER, M. SALINAS, E. FERERES, M. COHEN, J. GIRONA, M. MATA. 1999. Comparison of continuous and discrete plant-based monitoring for detecting tree water deficits and barriers to grower adoption for irrigation management. *Acta Horticulturae* 537(1): 431-448.

GONZALEZ A.M., S. BONACHELA, M.D. FERNANDEZ, M. GALLARDO, S. CRUZ. 2001. Uso de un programa de riego medio en un cultivo de tomate en invernadero y suelo enarenado en Almería. Abstract presentado y aceptado al IV Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas-Associação Portuguesa de Horticultura. Cáceres 7-11 de Mayo del 2001.

GRATTAN S.R., W. GEORGE, W. BOWERS, A. DONG, R.L. SNYDER, J. CARROL. 1998. New crop coefficients estimate water use of vegetables row crops. *California Agriculture* vol. 52(1): 16-20.

HANSON B.R., D.W. PETERS. 1999. Using dielectric soil moisture sensors for irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 537(1): 471-478.

HILL R.W., R. G. ALLEN. 1996. Simple irrigation scheduling calendars. *Journal of irrigation and drainage engineering* 122 (2): 107-111.

HSIAO, T. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Of Plant Physiol.* 24: 519-570.

JENSEN M.E. 1969. Scheduling Irrigation Using Computers. *J. Soil and Water Conserv.* 24: 193-195.

MATALLANA A., J.I. MONTERO. 1995. Invernaderos. Diseño, construcción y ambientación. 209 pp.

MONTERO J.I., N. CASTILLA, A. ANTON, J. HERNANDEZ. 2000. Direct and diffuse light transmission of insect-proof screens and plastic films for cladding greenhouses. International symposium on protected cultivation in mild winter climates: current trends for sustainable technologies. Book of abstracts: 21. Cartagena (Murcia).
PRUITT W.O., E. FERERES, K. KAITA, R.L. SNYDER. 1987. Reference evapotranspiration (ET_o) for California. *Agr. Exp. Sta. Bull.* 1922, Univ. of California, 16 pp.

RITCHIE J.T., B.S. JOHNSON. 1990. Soil and plant factors affecting evaporation. P.363-390. In B.A. Stewart and D.R. Nielsen (eds) Irrigation of Agricultural crops. Agronomy Monograph n° 30.

SMITH M. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 46, FAO, Rome.

SNYDER R.L. 1985. California Irrigation Management Information System. Vol.2. Final Report to the California Department of Water Resources. Office of Water Conservation. Contract number B53812. Sacramento, California. 130 pp.

STANGHELLINI C. 1987. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Ph. D. Dissertation, Agricultural University, Wageningen: XVIII+150 pp.

WRIGHT J.L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. And Drain. Div., ASCE, 108 (IR2): 57-74.